

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»**

Кафедра оториноларингологии и офтальмологии

Допускается к защите
Заведующий кафедрой

Накатис Я.А.

« » _____

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

НА ТЕМУ: Влияние внутриносовых структур на аэродинамику полости носа.

Выполнил студент:

Агалаков Илья Дмитриевич

605 группы

Научный руководитель:

д.м.н. доцент Конеченкова Наталья
Евгеньевна

Санкт-Петербург

2016 год

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Обзор литературы	7
1.1. Особенности топографо-анатомических отношений внутриносовых структур	7
1.2. Методы физического моделирования воздушных потоков в полости носа	10
1.3. Распределение воздушного потока в полости носа	16
Глава 2. Материалы и методы	19
Глава 3. Результаты собственных исследований	23
3.1. Оценка эффективности предложенной методики	23
3.2. Оценка влияния внутриносовых структур на аэродинамику полости носа	27
Заключение	38
Выводы	40
Список литературы	42
Приложения	46

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВНХ - верхний носовой ход

СКТ - спиральная компьютерная томография

МРТ - магнитно-резонансная томография

ННХ - нижний носовой ход

ОНП - околоносовые пазухи

ПВХ - поливинилхлорид

СНХ - средний носовой ход

СПН - синдром пустого носа

EPOS - European position paper on rhinosinusitis and nasal polyps

ENS - empty nose syndrome

IDSA - Infectious Diseases Society of America

PIV - Particle image velocimetry (трассерная визуализация)

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования.

Воздушная среда оказывает наибольшее влияние на человека начиная с первого вдоха новорожденного. Нос и околоносовые пазухи предохраняют организм человека от влияния вредных факторов воздушной среды. Вся дальнейшая жизнь человека, ее качество и продолжительность зависят от состояния этой защиты. Известно, что распределение воздушных потоков в полости носа является одним из основных факторов в возникновении воспалительных и не воспалительных заболеваний полости носа и околоносовых пазух. Во всем мире в последние десятилетия отмечается значительный рост числа заболеваний носа и околоносовых пазух (ОНП). Как по обращаемости в поликлинику, так и в группе больных, находящихся на лечении в условиях стационара в общей структуре заболеваемости ЛОР-органов острые и хронические риносинуситы прочно занимают первое место. За последние 10 лет заболеваемость риносинуситом среди населения планеты увеличилась с 2 до 4%. В странах Евросоюза ежегодно у каждого 7 человека возникают риносинуситы [31], в США регистрируется более 31 миллионов случаев риносинусита в год [20], а в Российской Федерации – свыше 10 миллионов случаев ежегодно [13]. Более 500 миллионов человек по всему миру страдают аллергическим ринитом. Так же заметно увеличилась частота риносинусогенных орбитальных и внутричерепных осложнений, которые могут закончиться летально [11]. Большое количество больных подвергается хирургическому лечению риносинусита, иногда это сопровождается вмешательством на структурах орбиты и полости черепа. Процент интраоперационных осложнений напрямую зависит от того, насколько врач обладает знаниями топографической анатомии оперируемого органа. Полость носа с окружающими его ОНП являются наиболее сложно

устроенными анатомическими образованиями. До недавнего времени значению анатомических особенностей строения полости носа, решетчатого лабиринта, других ОНП не предавалось должного внимание. Если в ходе оперативного вмешательства обнаруживались какие-либо аномалии анатомического строения, то им не придавалось значения или же они расценивались как проявление патологического процесса. Такой подход приводит к нарушению функционально значимого отношения внутриносовых структур, и как следствие, к нарушению аэродинамики полости носа.

Понимание аэродинамики полости носа, которая напрямую зависит от анатомо-морфологических соотношений внутриносовых структур и является ключом к снижению частоты встречаемости синдрома пустого носа (СПН, empty nose syndrome), как осложнение хирургических вмешательств в полости носа. Частота СПН при конхотомии достигает 20% по оценкам некоторых специалистов [15].

Профессор П.И. Дьяконов еще в 1906 г. в учебнике по топографической анатомии отмечал, что «так называемой нормы, обязательной для всех особей, не существует в действительности, эта классическая норма расплывается в массе вариаций, колеблющихся в различных пределах».

Стоит отметить, что анатомо-морфологические отношения внутриносовых структур в норме могут значительно отличаться у разных лиц. На сегодняшний день при исследованиях в ринологии актуальным является разделение популяции на три группы по указателю полости носа, который определяется как отношение ширины носа к его высоте [2]. Р.В. Неронов [4] предложил деление исследуемых объектов по указателю полости носа, который определяется как отношение ширины полости носа к высоте полости носа. По данному указателю все полости носа можно разделить на 3 группы: лептокавитальная – до 49,9, мезокавитальная – от 50,0 до 56,5 и платикавитальная – более 56,6. Между крайними формами (лепто- и

платикавительной) были выявлены статистически значимые различия в топографо-анатомических отношениях внутриносовых структур [4,5,6]. Что позволяет предположить наличие значимых аэродинамических отличий при различных формах полости носа.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – изучить влияние анатомо-топографических соотношений при различных формах полости носа на распределение воздушного потока.

Для достижения этой цели оставлены следующие задачи:

1. Разработать современную доступную методику оценки аэродинамических процессов в полости носа на физических моделях.
2. Оценить распределение воздушных потоков в полостях носа имеющих различную форму.
3. Сопоставить данные исследования о распределении воздушного потока и особенности топографо-анатомических соотношений в полостях носа, имеющих различную форму.
4. Определить принцип изменения распределения воздушного потока в зависимости от изменения формы полости носа.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Особенности топографо-анатомических отношений внутриносовых структур

Согласно основным принципам аэродинамики, характер воздушного потока определяется скоростью движения воздуха или иного газа, формой тела, соприкасающегося с воздушной массой и свойствами соприкасающейся поверхности. Применяв данные принципы к воздушному потоку в носовой полости, при условии, что характеристики воздуха считаются константными, можно сделать вывод, что ведущим фактором распределения воздуха в полости носа является ее сложная формируемая её анатомическими образованиями. Стоит отметить, что значимую роль играет и свойство соприкасающейся поверхности, в роли которой выступает слизистая оболочки. За счет вазомоторных явлений она способна частично изменять как форму сечения, через которую проходит воздушный поток, так и коэффициенты трения, упругости поверхности и др. Что придает полости носа динамические характеристики. Однако именно топографо-анатомическое отношение внутриносовых структур определяет то или иное распределение воздуха в носовой полости.

Исходя из вышеизложенного, роль соотношения внутриносовых структур между собой и их индивидуальные особенности в каждом конкретном случае трудно переоценить в влиянии на аэродинамику полости носа, а как следствие, и на развитие патологических процессов в полости носа. На протяжении всей истории изучения вопроса анатомии полости носа и ОНП было описано множество вариантов строения тех или иных внутриносовых структур. Первое наиболее точное топографическое описание полости носа и околоносовых пазух изложил Н.И. Пирогов в своем бессмертном труде «Топографическая анатомия, иллюстрированная разрезами, проведенными через замороженное тело человека в трех направлениях» (1852—1859) [8].

Не менее значимыми в этой области являются и две зарубежные монографии: Onodi A. (1922) и Zuckerkandel E. (1983) [25,32]. Однако развитие новых методов исследования, ведущим из которых является спиральная компьютерная томография, и по сегодняшний день дает возможность продолжать изучение изменчивости строения полости носа и ОНП. Наиболее клинически значимыми являются исследования, которые позволяют говорить о соотношении внутриносовых структур на основании формы черепа и краниологических индексов.

Так, исследования краниометрических и краниоскопических признаков средней носовой раковины и ската проводились в зависимости от формы мозгового черепа и формы наружного носа [1, 12, 19]. Храппо И.С. и Тарасова Н.В. [19] выявили, что у брахикранов относительно долихокранов средняя носовая раковина короче и занимает более горизонтальное положение относительно дна полости носа. И.А.Бочкарев [1] показал, что у платиринов средняя носовая раковина располагается более вертикально и имеет меньшую длину в сравнении с лепторинами. В 2006 году О.В.Мареев и соавторы выявили связь между углом наклона ската и лицевым углом в разных возрастных группах [12]. Значительную вариабельность решётчатой кости описал Пискунов В.С., так же автором предложена классификация нетравматических искривлений носовой перегородки [9].

Кроме того, Нероновым Р.В. [4] предложена новая классификация форм полости носа. Был предложен указатель полости носа, который определяется как отношение ширины полости носа к ее высоте. Измерения высоты и ширины полости носа выполнялись с использованием мультипланарной реконструкции в коронарной плоскости, в месте расположения решетчатых отростков нижних носовых раковин, перпендикулярно дну полости носа. Причиной выбора данной плоскости является то, что она проходит через структуры остиомеатального комплекса, характеризующего функциональное состояние соустьев околоносовых пазух. По данному указателю Р.В. Неронов

предложил разделить полости носа на лепто-, мезо- и платикавительную. Так, лептокавительная группа имела указатель до 49,9, мезокавительная – от 50,0 до 56,5 и платикавительная – более 56,6 [4].

Такое деление полостей носа представляет большой интерес как в клиническом, так и в морфологическом отношении, не только ввиду высокой информативности. Неронову Р.В. удалось обнаружить определенные закономерности изменения топографо-анатомических отношений внутриносовых структур при изменении указателя полости носа. Так, при увеличении указателя полости носа следует ожидать увеличение толщины переднего конца средней носовой раковины, сужение среднего носового хода, широкий общий носовой ход в переднем отделе на уровне нижней носовой раковины, низкая полость носа в переднем ее отделе. Это утверждение верно, как для мужчин, так и для женщин, однако у мужчин типовые особенности полости носа выражены в большей степени [4,5,6,7]. Для лептокавительной формы, относительно платикавительной, характерно меньшее расстояние в переднем и среднем отделах между нижними носовыми раковинами и перегородкой полости носа; узкие передние концы средних носовых раковин и широкие средние носовые ходы. При обеих формах полостей носа, средние отделы нижних носовых раковин приближены к срединной плоскости, относительно передних концов. При лептокавительной форме полости носа у средних носовых раковин передние концы приближены к срединной плоскости, относительно средних отделов средней носовой раковины. При платикавительной форме наблюдается противоположное отношение.

Выявлено, что средняя носовая раковина при платикавительной форме, относительно лептокавительной, имеет меньшую длину, а скат располагается более вертикально относительно дна полости носа, лептокавительную форму характеризует большая высота в переднем отделе и высокие хоаны [4,5,6].

Закономерно предположить, что данные различия в топографо-

анатомических отношениях при лептокавитальных и платикавитальных формах полости носа прямым образом будут влиять на аэродинамические характеристики.

1.2 Методы физического моделирования воздушных потоков в полости носа

Моделирование физиологических процессов один из важнейших этапов познания в медицине и физиологии. Одним из сложнейших для моделирования является процесс прохождения воздуха через носовую полость, в силу достаточного малого размера полости и сложной анатомической структуры носовых ходов. При этом, стоит упомянуть, что вазомоторные изменения придают анатомическим размерам полости носа динамическую характеристику. Характеристики воздушного потока так же не являются константными.

Моделирование аэродинамических потоков в полости носа имеют весьма прикладной интерес, т.к. те или иные особенности аэродинамики определяют тактику хирургического вмешательства. С этой точки зрения можно выделить ряд критериев, предъявляемых к методу моделирования воздушных потоков в полости носа:

1. использование медицинских изображений от обычных устройств медицинской визуализации,
2. рассмотрение анатомических структур единым комплексом, с учетом трехмерных ламинарных, турбулентных и переходных характеристик воздушного потока,
3. возможность эффективно моделировать большое количество физических параметров,
4. надежные вычисления,
5. обеспечение качества результатов моделирования

6. яркая визуализация результатов моделирования.

Все известные на данный момент способы моделирования воздушных потоков в носовой полости не способны учесть все эти нюансы при моделировании.

Принципиально можно выделить 2 основных метода моделирования: это вычислительные модели и физические.

Исторически первыми были созданы физические модели [17,18,19,27,29] Физические твердотельные модели могут создаваться на основе трупного материала [14,27,29] и материалах прижизненных методов исследования полости носа [22,23].

Изготовление объемных моделей с использованием трупного материала производится путем заполнения полости носа жидкой субстанций, чаще всего силиконом [14,29], которая впоследствии отвердевает. После разрушения тканей трупа застывшая силиконовая форма выступает в роли матрицы для отливки акриловой модели. Данный метод имеет ряд недостатков:

1. Посмертные изменения полости носа, так же, как и различные методы консервации влияют на форму полости носа, что вносит значимую погрешность в создаваемую модель.
2. Данный метод предполагает разрушение трупных препаратов, что накладывает ряд ограничений на количество создаваемых моделей.

Так же известны варианты изучения аэродинамики непосредственно на трупном материале, путем пропускания дыма через сагиттальные распилы на уровне носовой перегородки, с заменой последней прозрачным пластиком для создания герметичности [27]. Такой способ был признан излишне сложным и трудоемким.

Однако на сегодняшний день предпочтение отдается методу, основанному на материалах прижизненных исследований [22,23], что соответствует приведенным выше критериям. Данный способ стал возможен в связи с значительным развитием цифровой техники. Определение геометрии полости носа возможно проводить в естественных условиях с помощью современных методов визуализации, получивших широкое распространение в медицине. В первую очередь это спиральная компьютерная томография (СКТ), в меньшей мере магнитно-резонансная томография (МРТ). Данные методы позволяют получать цифровые изображения срезов полости носа в трех плоскостях, с возможностью создания объемного изображения, что является предпочтительным как для вычислительного, так и для физического моделирования, т.к. дает высокую степень визуализации прижизненной геометрии полости носа [16]. На основании прижизненного исследования пациента методом КТ создается компьютерная 3D модель, которая при использовании определенного программного обеспечения разделяется на ряд частей. После этого методом объемной печати из акрила создаются отдельные части модели, впоследствии путем собираются воедино. Использование цифровой техники позволяет свести погрешность при создании модели к минимуму. Стоит отметить, что независимо от метода создания модели, во всех приведенных выше примерах моделируется только одна половина носовой полости. При таком варианте моделирования возможна оценки только аэродинамических процессов исключительно в преддверии и собственно полости носа (до хоан). Оценка распределения воздушных потоков в носоглотке не представляется возможной, ввиду искусственного разделения носоглотки, что не соответствует анатомическому строению. Использование моделей, без разделения носоглотки не получило распространения ввиду сложности визуальной оценки проводимого исследования ввиду оптической неоднородности таких моделей.

Независимо от метода изготовления модели полости носа, следующим этапом является моделирование воздушных потоков. При физическом моделировании чаще всего приходится пренебрегать вазомоторными изменениями, размерами модели, в сторону увеличения [22,23], а иногда и динамическими характеристиками тока воздуха [14,24]. При этом, достаточно часто для моделирования прохождения через анатомические структуры полости носа используется не воздух, а жидкие среды: вода, водно-глицериновые растворы и др. [14,22,23,24]. Использование жидких сред имеют с одной стороны ряд преимуществ. Во-первых, показатель преломления акрила (1.45) находится ближе к показателю преломления у воды (1,33), нежели у воздуха (1,00), таким образом, снижается оптическое искажение при наблюдении потока [28]. Во-вторых, при постоянных параметрах тока жидкости, эквивалентное число Рейнольдса может быть получены при прохождении жидкости в 15 раз медленнее [28].

Самым простым вариантом является моделирование вдоха, путем подачи жидкости или газа через преддверие полости носа.

Для данного варианта физического моделирования оптимальными являются следующие условия:

1. поток жидкости несжимаемый, изотермический, изобарический
2. однонаправленность потока (либо вдох, либо выдох)
3. постоянная геометрия с гидравлическими гладкими стенками (без вазомоторных изменений).

Для визуализации потока в таких моделях использовалось подкрашивание и цифровая трассерная визуализация (PIV - Particle image velocimetry).

G. Mlinski и другие предложили одну из наиболее удачных физических моделей, использующих подкрашивание потока в качестве метода визуализации [24]. Твердотельная модель полости носа полностью

помещается в прозрачную пластиковую емкость, наполненную водой. К концу модели, имитирующему носоглотку через систему полипропиленовых трубок с датчиком потока, присоединяется насос, создающий отрицательное давление. В преддверие полости носа вводится три капилляра, соединённых с емкостями с красителями. Капилляры при этом располагаются непосредственно друг над другом на одинаковом расстоянии. При создании отрицательного давления, моделирующего вдох, жидкость в емкости проходит через модель. Поток увлекает за собой и красители. Результаты исследования фиксировались визуально и с помощью видеозаписи.

За последние 15 лет прогресс в электронике, лазерной технике и регистрирующей видеоаппаратуре позволил развить на базе традиционных методов количественной визуализации потоков новые, позволяющие измерять мгновенные поля скорости с высоким пространственным разрешением, проводить измерения за доли секунды и автоматизировать процесс обработки. Это привело к появлению метода цифровой трассерной визуализации, который успешно применяется в изучении аэродинамики полости носа [26].

Суть данного метода заключается измерении перемещения частиц примеси, находящихся в плоскости сечения, за фиксированный интервал времени. В поток жидкости или газа добавляются частицы малого размера (трассеры). Эффекты, связанные с двухфазностью потока минимизируются путем подбора размера, плотности и объемной концентрации частиц. Измерительной областью потока считается плоскость, «вырезаемая» световым ножом. При этом требуется минимум двукратное освещение частиц в измерительной плоскости потока. Образы частиц регистрируются на фото или видео носители. Далее эти данные проходят обработку, которая позволяет рассчитать смещения частиц за время между вспышками источника света и построить двухкомпонентное поле скорости. Измеренные двухкомпонентные значения векторов являются проекциями реальных

(трехмерных) векторов на плоскость, перпендикулярную оптической оси регистрирующей образы частиц аппаратуры. Для измерения трех компонент скорости используют, как правило, два регистрирующих модуля, оптические оси которых ориентированы под определенным углом относительно друг друга. В качестве источника излучения обычно используются твердотельные импульсные Nd:YAG лазеры. Такие лазеры имеют малую длительность импульса ($\sim 4\text{--}10$ нсек) и достаточно высокую энергию в импульсе. Использование двух лазеров, работающих на одной оптической оси, позволяет получать короткую временную задержку между импульсами, что необходимо для исследования высокоскоростных потоков. Иногда для освещения частиц применяют непрерывные лазеры, сканирующие поток при помощи вращающихся призм и зеркал. С помощью программного обеспечения информация о скорости потока в различных срезах используется для создания визуализации в 3D. Это позволяет оценить скорость потока в каждой конкретной точке модели полости носа [21].

Однако, как было сказано выше, в процессе дыхания давление воздуха имеет динамические характеристики. Моделирование разно направленных воздушных потоков, т.е. и вдоха, и выдоха в рамках одной модели является более сложной задачей, при которых достижения эквивалентного числа Рейнольдса вряд ли достижимо, при использовании жидкости.

При таких задачах, условия моделирования принимают следующий характер:

1. Использование изотермического (30°C) воздушного потока при атмосферном давлении (идеальный газ)
2. Постоянная геометрия с гидравлическими гладкими стенками (без вазомоторных изменений).

Поскольку при таком методе моделирование, направление потока относительно модели не является константой, а подкрашивание потока или использование метода фиксации распределения частиц не представляется

возможным, то оценка результатов в видимом спектре делается маловероятной. По этой причине был предложен метод оценки распределения потока с помощью фиксации инфракрасного излучения [3]. В этой методике используются объемные акриловые модели правой половины полости носа человека в масштабе 1:1 с продлением плоскости носовой перегородки в носоглотку. Модели созданы с использованием данных компьютерной томографии. Для снижения оптической неоднородности верхнечелюстные пазухи в моделях не представлены. В модели при помощи ПВХ трубок подается воздушный поток объемом 700мл с температурой 30°C и пиковой скоростью потока 12л/мин со стороны носоглотки при моделировании выдоха, затем со стороны носоглотки создается отрицательное давление, до момента прохождения 700мл воздуха, поступающего со стороны преддверия носа и имеющего температуру окружающей среды. Оценка распределения потока воздуха производилась с помощью тепловизора.

Данный метод обладает достаточно высокой наглядностью, но уступает в возможности получения количественных характеристик потока методам цифровой трассерной визуализации.

1.3 Распределение воздушного потока в полости носа

Принято считать, что при нормальном топографо-анатомическом соотношении внутриносовых структур воздушный поток при вдохе направляется вверх параллельно спинке носа, дугообразно поворачивается и движется вдоль верхней и средней носовых раковин, а у хоан вновь спускается вниз. Степень отрицательного давления, определяет крутизну воздушной струи. Поскольку интенсивность дыхания и степень резистентности в области «носового клапана» непосредственно влияют на степень отрицательного давления, следовательно, эти параметры также влияют и на распределение воздушного потока в полости носа. При

формировании воздушной струи при выдохе, основное значение имеет свод носоглотки, от которого воздух отражается и через хоаны направляется в нижний носовой ход и вдоль нижней носовой раковины. Отсутствие нижних носовых раковин или их гипертрофия, наличие новообразований или полипов, искривление перегородки носа вызывают значительные изменения распределения воздушного потока в носовой полости. Так, в случае удаления нижних и средних носовых раковин главная масса воздуха проходит по дну носовой полости. Таким образом, воздух при входе не достигает отделов полости носа.

Учитывая описанные выше особенности топографо-анатомического расположения внутриносевых структур крайних форм индивидуальной изменчивости и механизм распределения воздушного потока в полости носа, можно предположить каким будет распределение воздуха при данных формах полости носа. Поскольку при входе основную роль в распределении воздушного потока играет отрицательное давление и носовой клапан, частью которого являются передние концы нижних носовых раковин, можно предположить, что более близкое их расположение к перегородке носа и собственно узость носовой полости при лептокавитальной форме будут способствовать формированию более крутой воздушной струи. Таким образом более широкая носовая полость с более удаленные от срединной полости концы нижних носовых раковин должны создавать меньше преград току воздуха, что будет проявляться более равномерным распределением воздушной струи в носовых ходах. Лептокавитальная полость носа имеет более пологий свод носоглотки, платикавитальная, напротив, обладает достаточно крутым сводом носоглотки. Это должно повлиять на распределение воздушной струи при выдохе. Так, пологая носоглотка должна меньше направлять воздушный поток в нижний носовой ход, вплоть до полного исключения его участия в акте выдоха. При платикавитальной форме полости носа можно ожидать направление воздушной струи при выдохе исключительно в нижний носовой ход.

Механизм циркуляции воздуха между околоносовыми пазухами и полостью носа достаточно интересен. Во время вдоха в полости носа создается отрицательное воздушное давление, что способствует выходу теплого воздуха из пазух в полость носа. Здесь он смешивается с основным потоком вдыхаемого воздуха и вместе с ним проходит в дальше по респираторному тракту. Стоит отметить, что при этом увлажненный, очищенный, согретый воздух околоносовых пазух поступает в легкие раньше атмосферного, так как входит в состав первой порции вдыхаемого воздуха. В ряде исследований на экспериментальных моделях было установлено, что время, необходимое для обмена в верхнечелюстной пазухе 90% объема воздуха обратно пропорционально площади поперечного сечения соустья [10].

Таким образом, утолщение слизистой оболочки в области соустья на 1 мм значительно отражается на газообмене. Дыхание ртом снижает газообмен в пазухах в 2 раза, в сравнении с дыханием носом. А. Proetz предполагал, что полный газообмен происходит в пазухах за 1 час, однако сегодня достоверно известно, что при носовом дыхании для этого достаточно 5 минут [10]. В области «носового клапана» при выдохе воздушному потоку оказывается сопротивление, что определяет повышение воздушного давления в полости носа, благодаря которому воздух проникает в пазухи. При этом в пазухи проникает последняя порция вдыхаемого воздуха из полости носа. По этой причине воздух в околоносовых пазухах всегда имеет высокую концентрацию кислорода.

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования применялись три объемные акриловые модели половины полости носа, с продлением плоскости носовой перегородки в носоглотку. В моделях были воссозданы топографо-анатомические особенности расположения внутриносовых структур при лепто-, мезо- и платикавительной формах полости носа. Материалом для создания моделей послужили компьютерные томограммы околоносовых пазух и полости носа, проведенные на мультислайсовом 4-х детекторном спиральном компьютерном томографе Light Speed Plus производства компании General Electric в медицинском комплексе АО “СМТ”. Исследования проводились в аксиальной плоскости сканирования, толщина срезов 0,625 мм, интервалом 0,625 мм, напряжением 80 kV, сила тока 150 mA. Реконструкции изображений в коронарной и сагиттальной плоскостях сканирования,

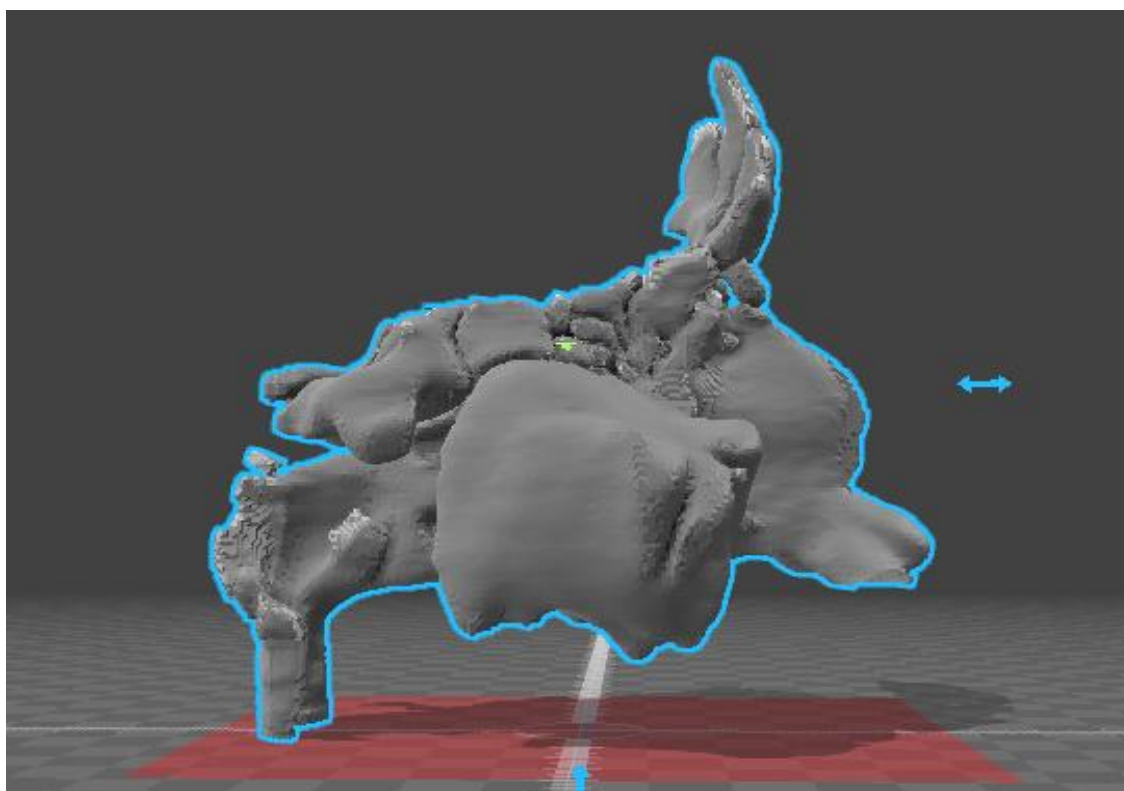


Рисунок 1. Вид компьютерной 3D модели (платикавительная форма).

выполнялись на рабочей станции, входящей в комплектацию томографа. Данные КТ были использованы для создания виртуальных 3D моделей с помощью программного пакета Mercury Amira 5.2.0 (рис. 1) и сегментированы на отдельные части, что обусловлено технологией производства модели. После чего методом объемной печати компьютерные модели были воссозданы из акрила, отдельные детали были склеены силиконовым клеем (рис. 2). Для уменьшения оптических помех перегородки были отполированы и покрыты акриловым лаком. С той же целью верхнечелюстные пазухи в модели воссозданы не были.



Рисунок 2. Вид акриловой модели полости носа (лептокавитальная форма).

В данные модели при помощи ПВХ трубки подавался воздушный поток объемом 700 мл с температурой 30°C и пиковой скоростью потока 10-12л/мин со стороны носоглотки. Затем, с той же пиковой скоростью потока создавалось отрицательное давление, до момента прохождения 700 мл воздуха в противоположном направлении. В последнем случае воздух имел температуру окружающей среды. Стоит отметить, что в эксперименте

авторами не учитывались вазомоторные изменения слизистой оболочки полости носа, т.е. анатомическая структура полости носа была ригидной.

Такой метод позволяет моделировать процесс выдоха наиболее физиологично, т.к. объемы, пиковая скорость и смена направления движения потока соответствуют таковым при акте дыхания взрослого человека. Таким образом процесс выдоха был воссоздан путем подачи теплого воздуха со стороны носоглотки, а процесс вдоха моделировался путем создания отрицательного давления в носоглотке и прохождения воздуха комнатной температуры через разогретую модель.

Визуализация распределения потока воздуха производилась методом инфракрасной термографии с помощью тепловизора Testo 890 в температурном диапазоне 20 - 30 °С (рис. 3). Полученные данные были обработаны с помощью программного пакета, прилагаемого к устройству (рис. 4).

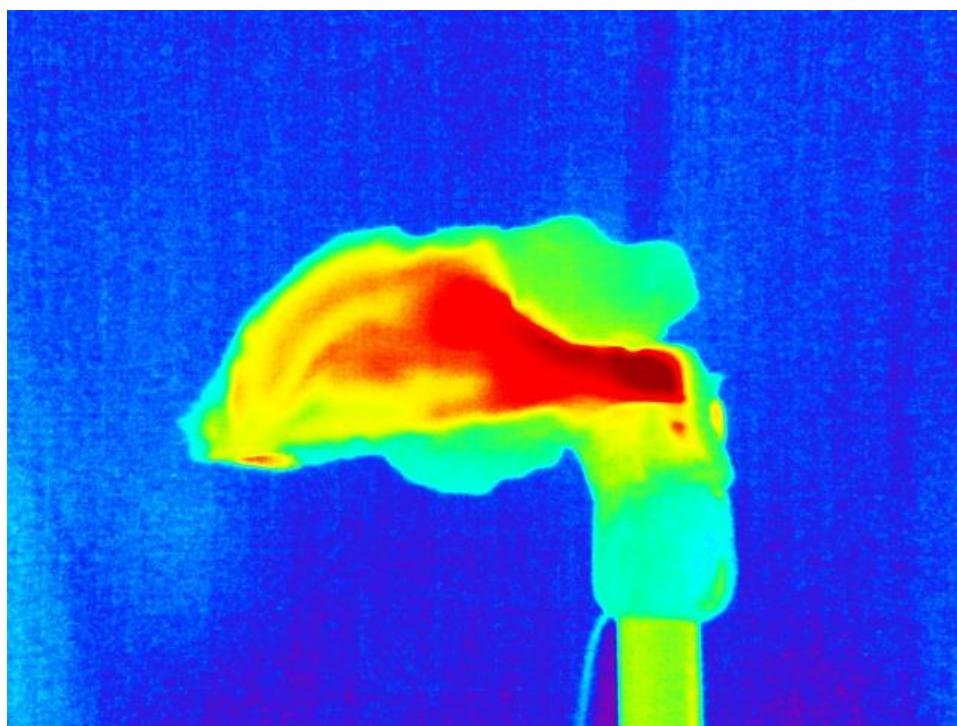


Рисунок 3. Моделирование вдоха подачей теплого воздуха со стороны носоглотки (мезокавитальная форма). Общий вид.

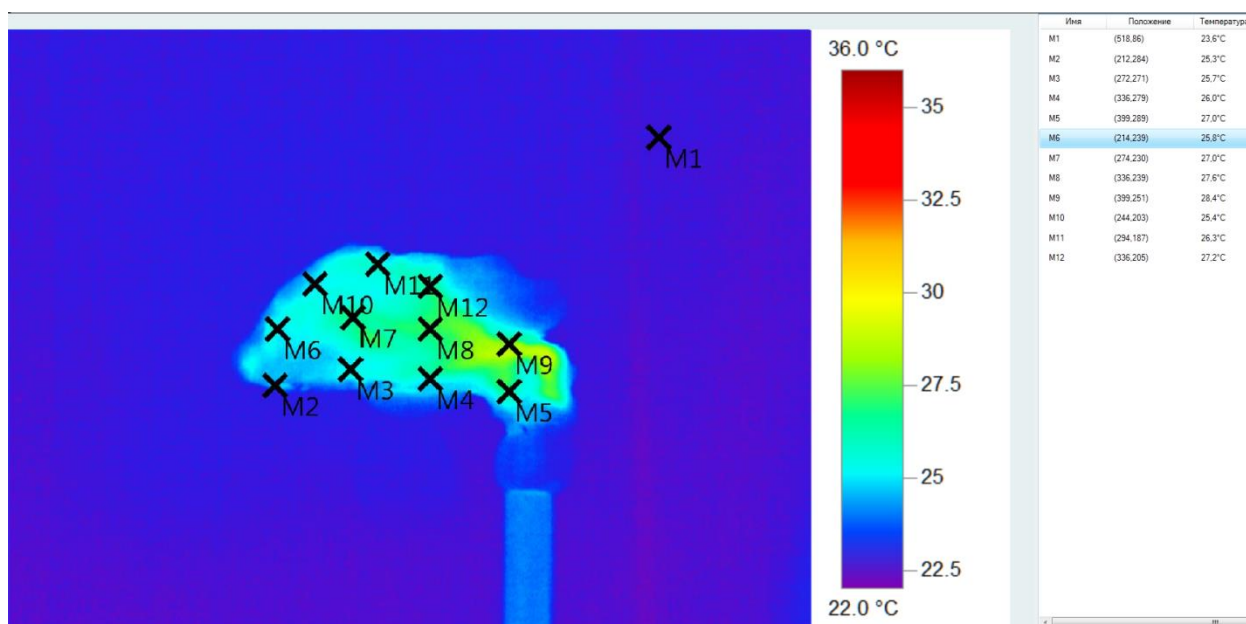


Рисунок 4. Моделирование выдоха подачей теплого воздуха со стороны носоглотки (мезокавитальная форма). Инфракрасная термограмма.

Анализ полученных данных производился при помощи программного обеспечения StatSoft Statistica 13 путем создания динамических рядов, отражающих изменение температуры в носовых ходах. Для анализа были выбраны точки в верхнем, среднем и нижнем носовых ходах, расположенные в плоскости нахождения структур остиомеатального комплекса. Длительность как вдоха, так и выдоха составила 5 секунд. Оценка распределения воздушного потока в носовых ходах производилась расчетом показателей наглядности и темпов прироста в каждом носовом ходе. Так при моделировании выдоха путем подачи теплого воздуха эти показатели имеют положительную динамику. Прохождение воздуха комнатной температуры при моделировании вдоха, ведет к снижению показателей наглядности, а темпы прироста приобретают отрицательную направленность.

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Оценка эффективности предложенной методики

Мезокавитальная форма полости носа встречается в популяции в 64% случаев [4,5,6]. Проводимые ранее исследования, изучающие распределение воздушного потока в полости носа, не учитывали форму полости носа. Следовательно, данные о распределении воздуха в носовой полости являются усредненными по всем трем формам полости носа. Однако учитывая частоту встречаемости мезокавитальной полости носа, общеизвестные закономерности тока воздушной струи в носовой полости наиболее сопоставимы именно с данной формой полости носа. Данные о распределении воздушного потока в модели мезокавитальной полости носа были сопоставлены с имеющимися научными данными о нормальном распределении воздушного потока в полости носа.

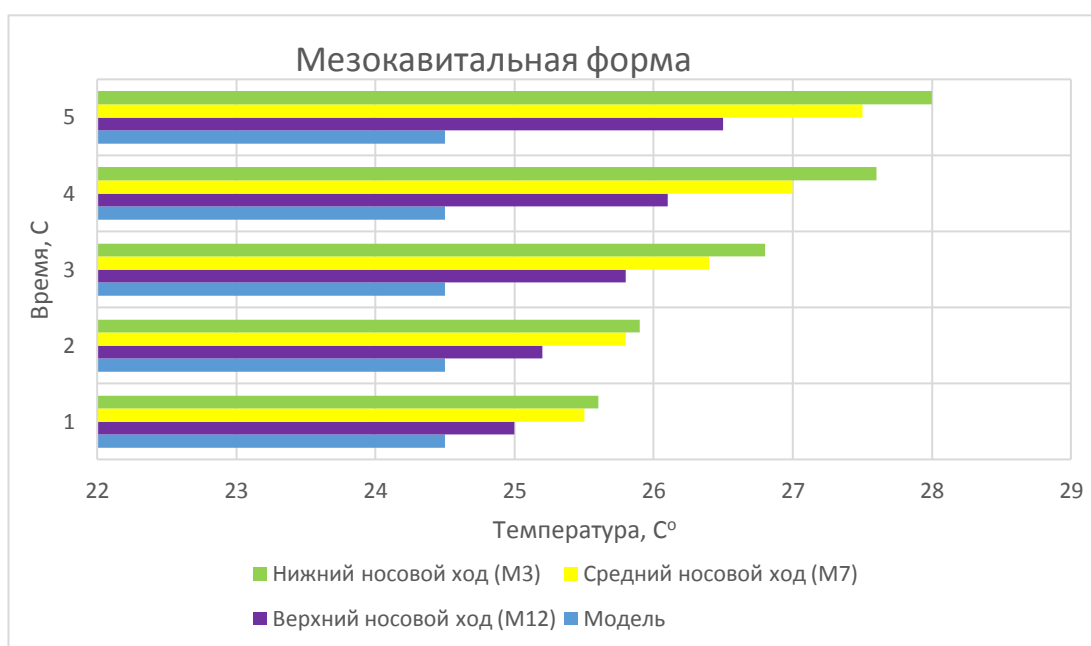


Рисунок 5. Распределение температуры в полости носа при выдохе.

При моделировании выдоха, путем нагнетания теплого воздуха в модель мезокавитальной полости носа со стороны носоглотки отмечается значительное увеличение температуры в области нижнего и среднего отделов общего носового хода, нижнего и среднего носовых ходов (рис. 5).

Увеличение температуры до 27,5 – 28 °С, относительно 24,5 °С, что соответствует температуре модели до начала эксперимента. В точке, соответствующей верхнему носовому ходу так же происходит повышение температуры, но не столь значимое (до 26,5 °С), что может быть объяснено конвекционными токами воздуха, а также теплопроводностью воздуха и акриловой модели. При сравнении показателей наглядности и темпов прироста температур в разных носовых ходах, так же отмечается значимый прирост в точках, соответствующих нижнему и среднему носовым ходам (4,5-5% за 1 секунду), при сравнении с этими же показателями в точке, соответствующей верхнему носовому ходу – 2% за первую секунду (рис. 6,7). Эти данные позволяют сделать вывод, что при выдохе воздушный поток преимущественно направлялся в нижние и средние отделы общего носового хода, нижний и средний носовые ходы.

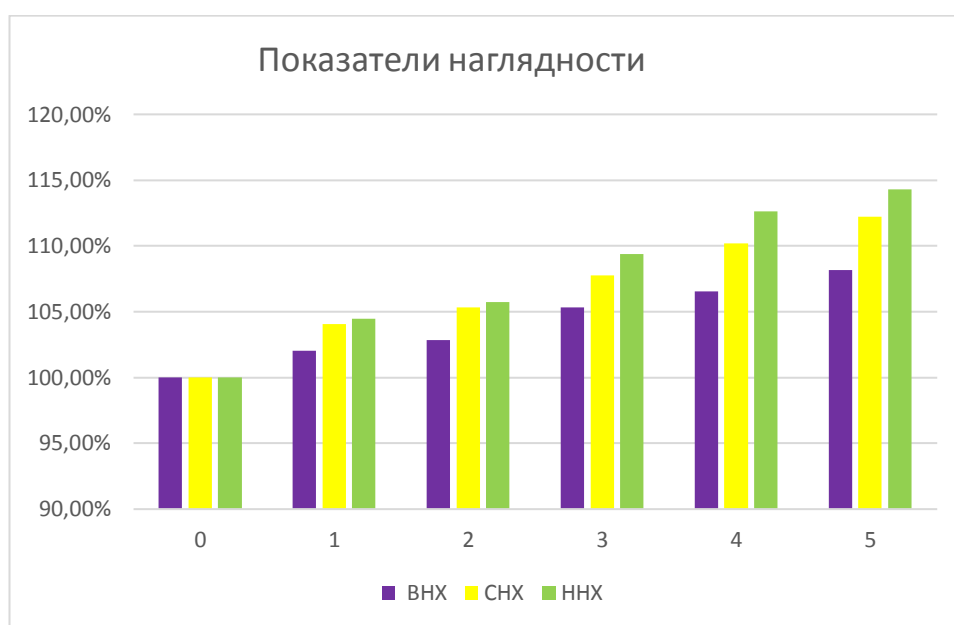


Рисунок 6. Сравнение показателей наглядности при выдохе. Мезокавитальная форма полости носа.

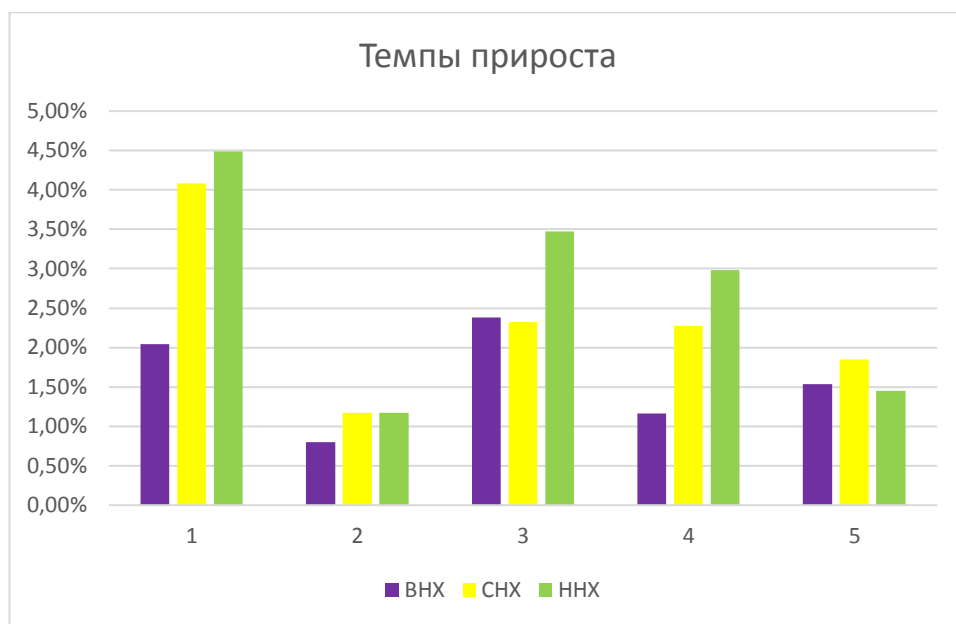


Рисунок 7. Сравнение темпов прироста температуры при выдохе. Мезокавитальная форма полости носа.

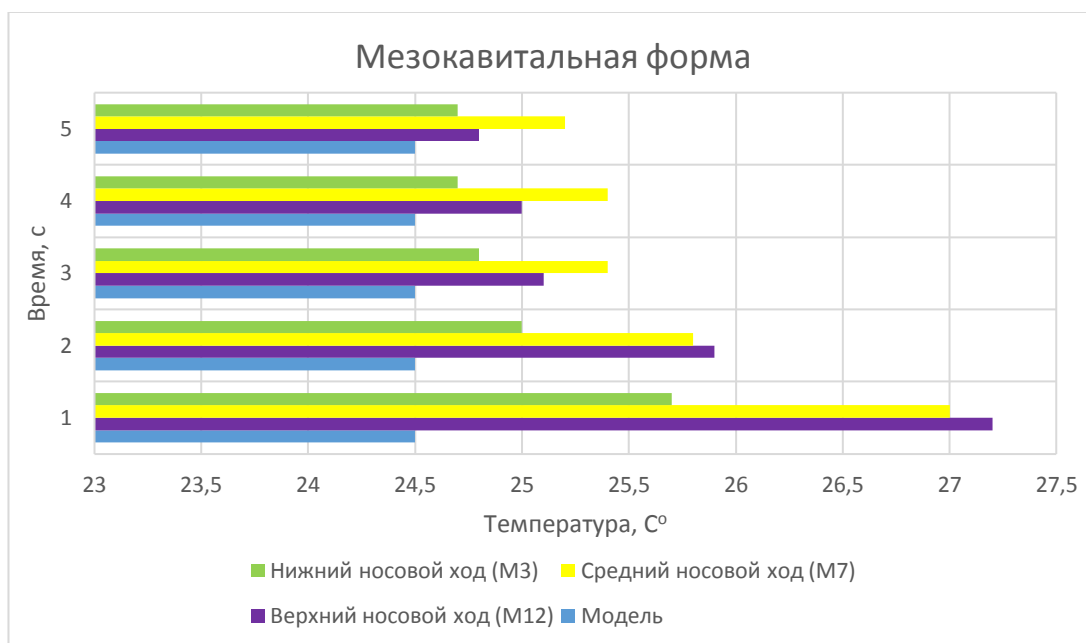


Рисунок 8. Распределение температуры в полости носа при вдохе.

При моделировании вдоха, путем создания отрицательного давления в разогретой при моделировании выдоха модели мезокавитальной полости носа со стороны носоглотки, отмечается значительное снижение температуры до 24,8 и 25,2 °C к пятой секунде вдоха, относительно 27 и 27,2 °C достигнутых при выдохе в среднем и верхнем носовых ходах соответственно (рис 8). В

точке, соответствующей нижнему носовому ходу так же происходит снижение температуры, но не столь значимое (с 25,7 до 26,5 °C), что может быть объяснено теплопроводностью воздуха и акриловой модели. При сравнении показателей наглядности и темпов прироста температур в разных носовых ходах, так же отмечается отрицательный прирост в точках, соответствующих верхнему и среднему носовым ходам (-4,75-4,44% за 2 секунду), при сравнении с этими же показателями в точке, соответствующей нижнему носовому ходу -2,72% за вторую секунду (рис. 9,10). Эти данные позволяют сделать вывод, что при вдохе воздушный поток преимущественно направлялся в верхний и средний отделов общего носового хода, верхний и средний носовые ходы.

Эти данные имеют высокую степень соответствия с данными полученными методом подкрашивания потока, цифровой трассерной визуализации и вычислительной гидродинамики, произведенными ранее [16,22,23].

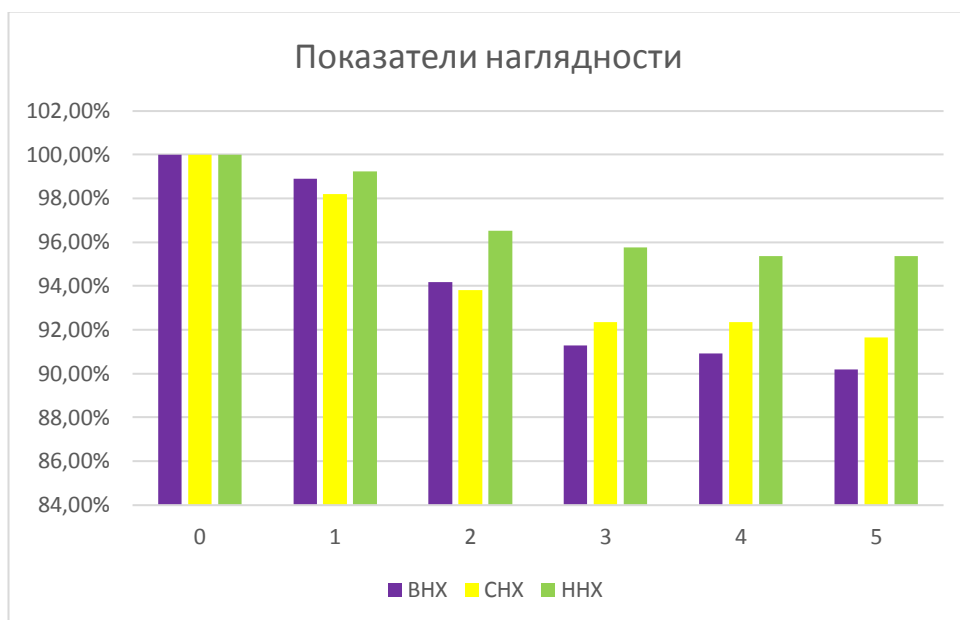


Рисунок 9. Сравнение показателей наглядности при вдохе. Мезокавитальная форма полости носа.

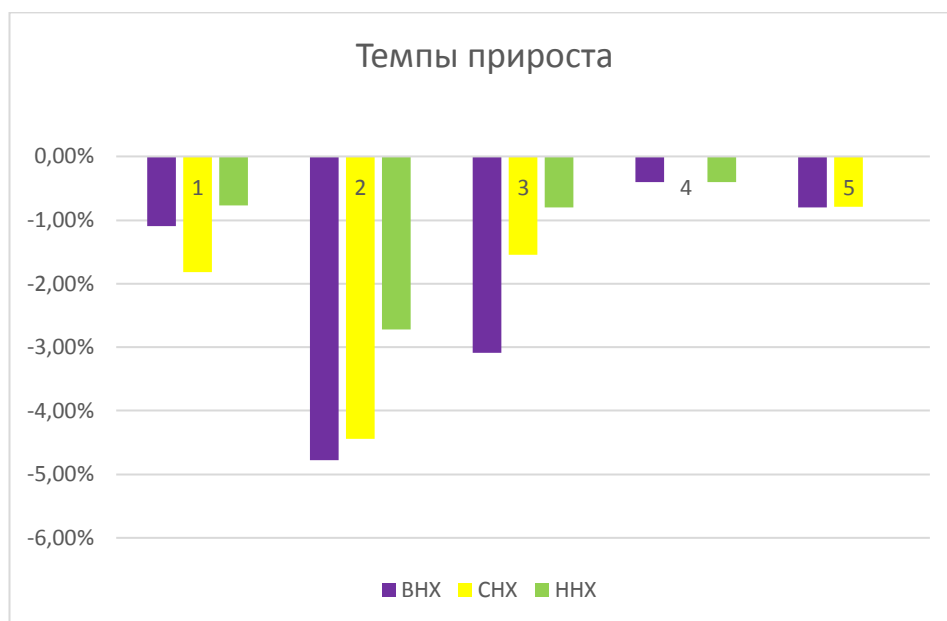


Рисунок 10. Сравнение темпов прироста температуры при вдохе. Мезокавитальная форма полости носа.

Высокая степень соответствия полученным ранее результатам и общепринятым представлениям о распределении воздушного потока в полости носа позволяют утверждать, что применение метода инфракрасной термометрии возможно для оценки распределения воздушного потока в полости носа.

3.2 Оценка влияния внутриносовых структур на аэродинамику полости носа.

С помощью описанной выше методики автором были изучены распределения потоков воздуха в моделях плати- и лептокавитальной формах полости носа. Полученные результаты значительно отличаются от распределения воздушного потока, характерного для большинства популяции, т.е. мезокавитальной формы полости носа.

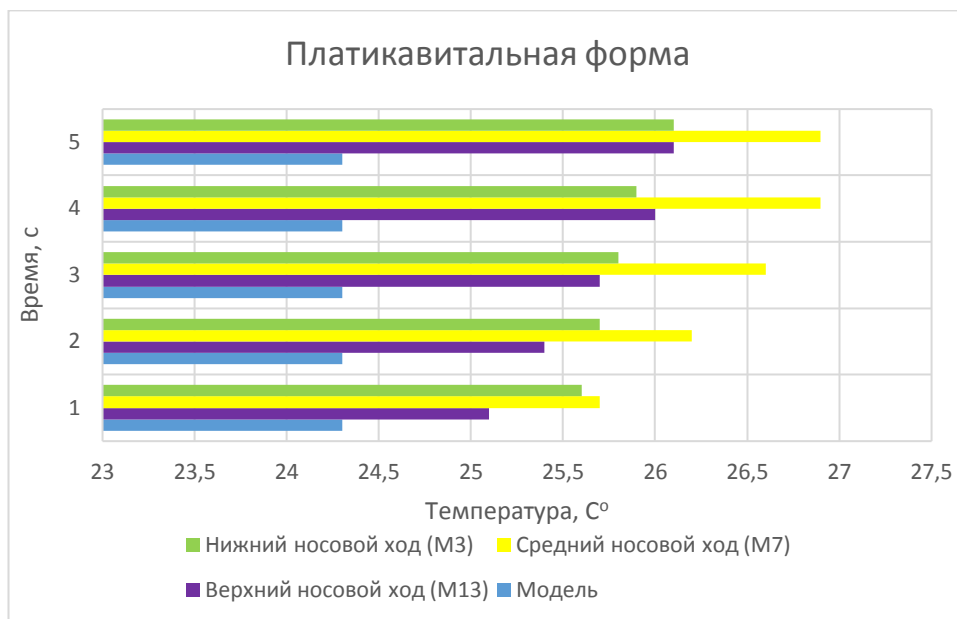


Рисунок 11. Распределение температуры в полости носа при выдохе.

Так при платикавительной форме полости носа воздух при выдохе преимущественно направляется в средний отдел общего носового хода и в средний носовой ход. Чему соответствует значительное увеличение температуры в области средней части общего носового хода и среднего носового хода (рис. 11). Увеличение температуры до 26,9 °C, относительно 24,3 °C, что соответствует температуре модели до начала эксперимента. В точке, соответствующей нижнему носовому ходу в первую секунду эксперимента так же происходит повышение температуры (до 25,6 °C), однако, в далее увеличение температуры происходит значительно медленнее. В точке, соответствующей верхнему носовому ходу увеличение температуры еще менее значимо, что может быть объяснено конвекционными токами воздуха, а также теплопроводностью воздуха и акриловой модели. При сравнении показателей наглядности и темпов прироста температур в разных носовых ходах, так же отмечается значимый прирост в точках, соответствующих нижнему и среднему носовым ходам (5,35-5,76% за 1 секунду), при сравнении с этими же показателями в точке, соответствующей верхнему носовому ходу – 3,29% за первую секунду (рис. 12,13). Однако в последующие секунды эксперимента показатель наглядности в точке

соответствующей средней части общего носового хода, отражающей прирост температуры относительно исходной, остается стабильным (рис. 12), а показатель темпа прироста снижается. Это объясняется тем, что в области среднего носового хода модель прогрева максимальна, динамика роста температуры отсутствует (рис. 13). Эти данные позволяют сделать вывод, что при выдохе воздушный поток преимущественно направлялся в средний отдел общего носового хода, средний носовой ход.

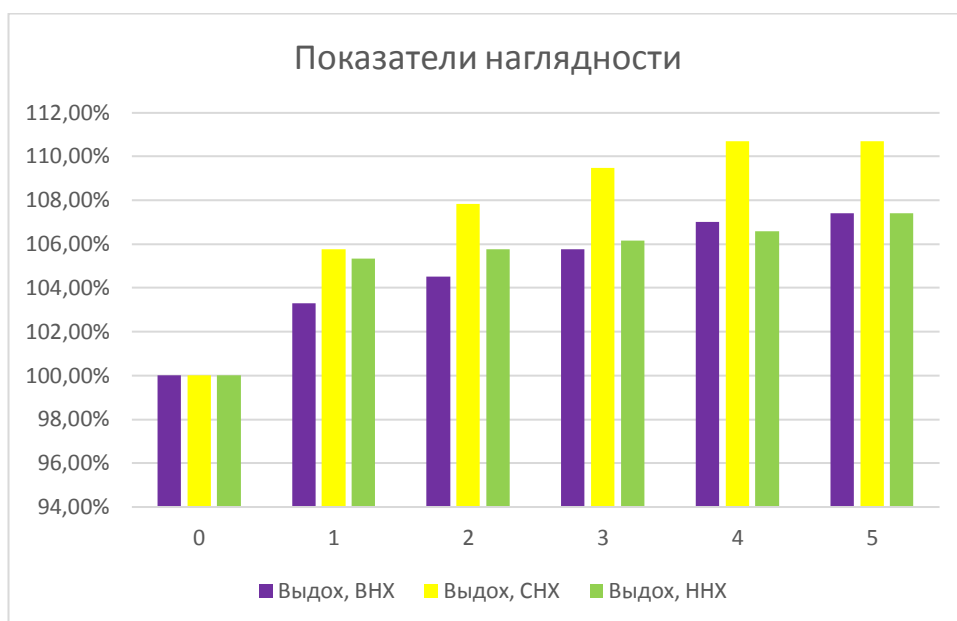


Рисунок 12. Сравнение показателей наглядности при выдохе. Платикавительная форма полости носа.

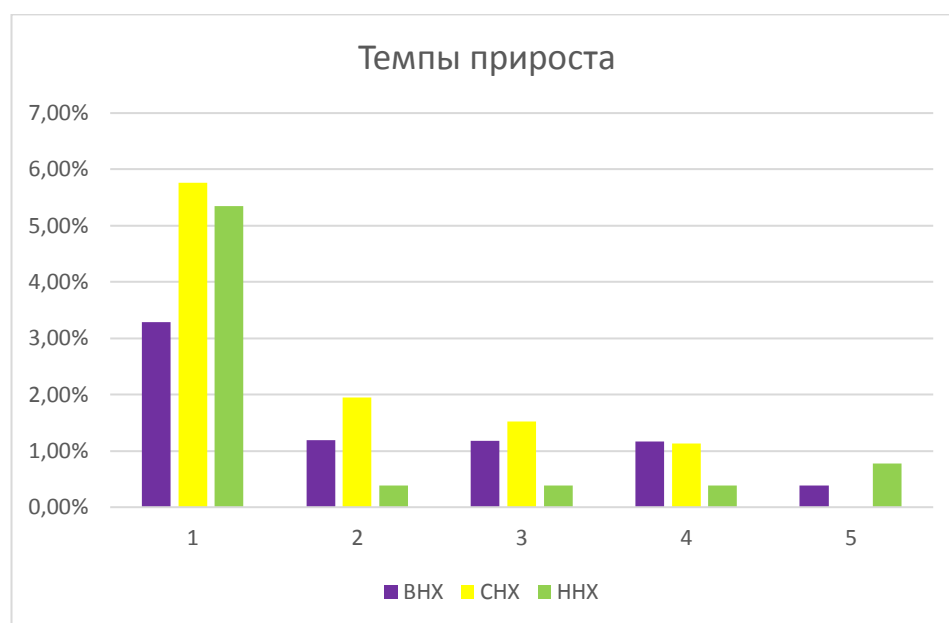


Рисунок 13. Сравнение темпов прироста температуры при выдохе. Платикавительная форма полости носа.

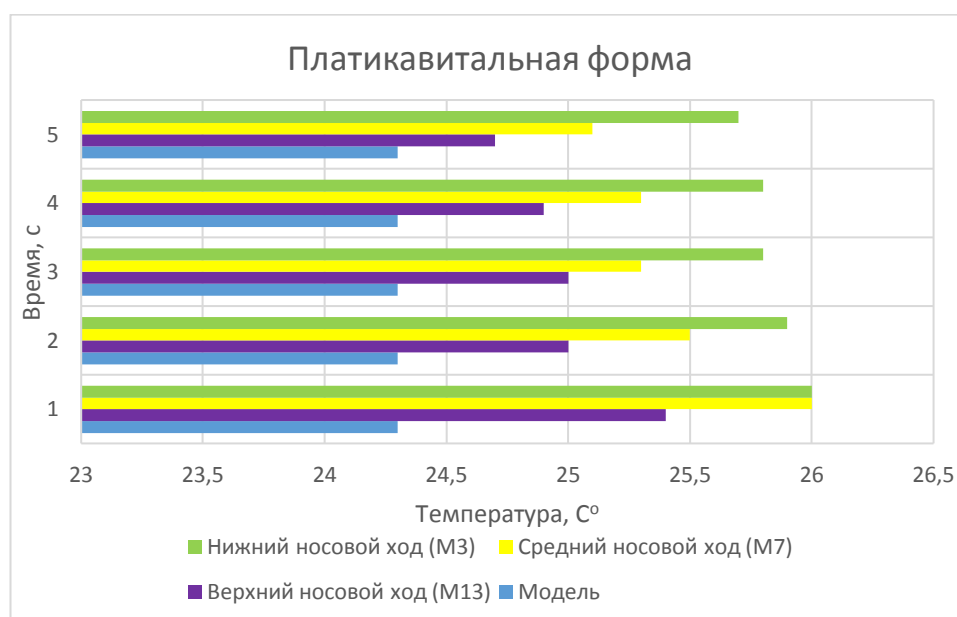


Рисунок 14. Распределение температуры в полости носа при вдохе.

При моделировании вдоха, путем создания отрицательного давления в разогретой при моделировании выдоха модели платикавительной полости носа со стороны носоглотки, отмечается значительное снижение температуры до 24,7 и 25,1 °C к пятой секунде вдоха, относительно 25,4 и 26 °C достигнутых при выдохе в верхнем и среднем носовых ходах соответственно

(рис. 14). В точке, соответствующей нижнему носовому ходу так же происходит снижение температуры, но не столь значимое (с 26 до 25,7 °С), что может быть объяснено теплопроводностью воздуха и акриловой модели. При сравнении показателей наглядности и темпов прироста температур в разных носовых ходах, так же отмечается отрицательный прирост в точках, соответствующих верхнему и среднему носовым ходам: -2,68% и -0,38% за 1 секунду, и -1,57% и -1,92% за вторую секунду; при сравнении с этими же показателями в точке, соответствующей нижнему носовому ходу: -0,38% за первую и вторую секунды (рис. 15,16). Эти данные позволяют сделать вывод, что при вдохе воздушный поток в первую секунду преимущественно направлялся в верхнюю часть общего носового хода, верхний носовой ход. Со второй секунды вдоха, часть воздушного потока проходит через средний носовой ход.

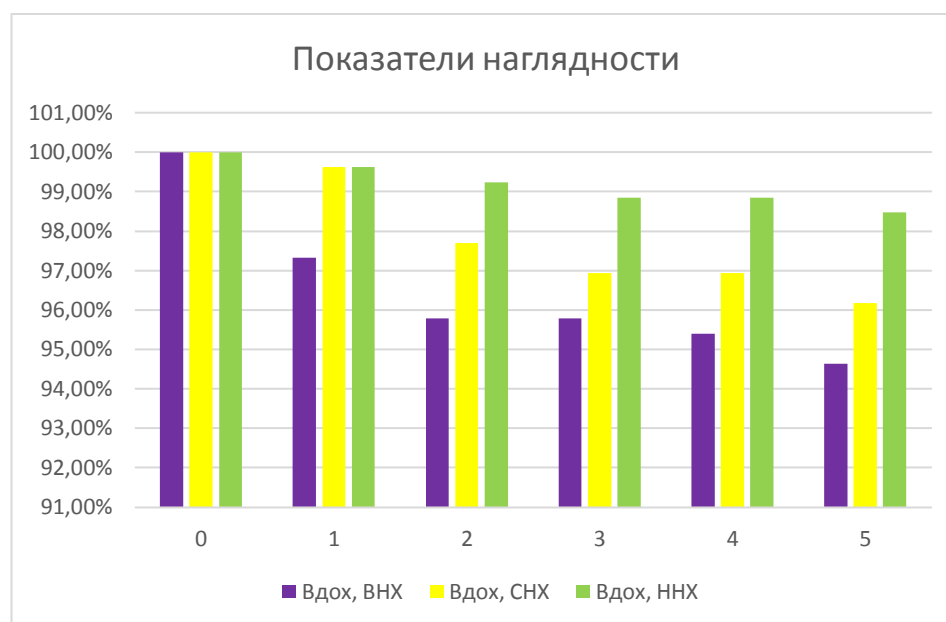


Рисунок 15. Сравнение показателей наглядности при вдохе. Пластикавительная форма полости носа.

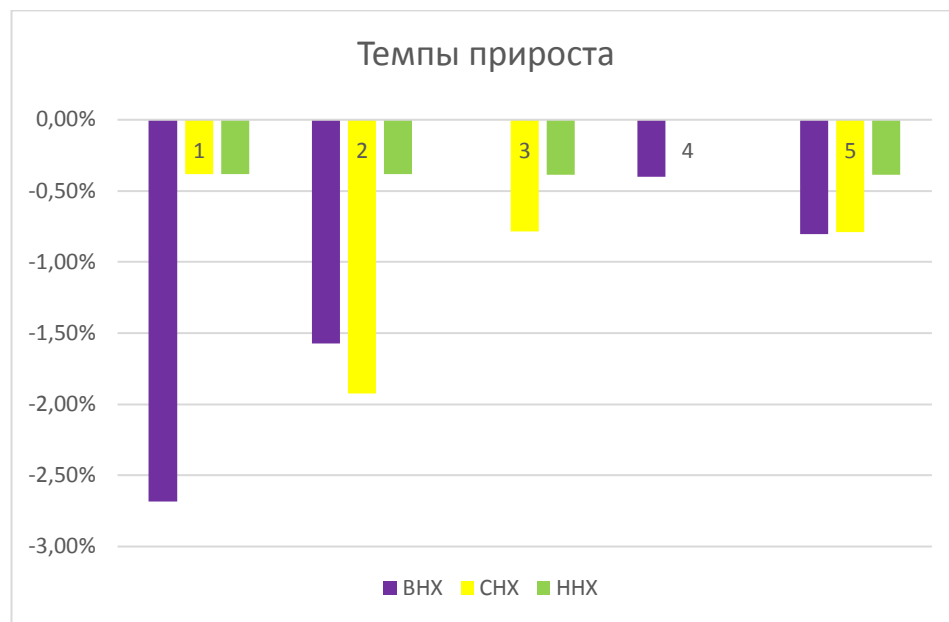


Рисунок 16. Сравнение темпов прироста температуры при вдохе. Платикавительная форма полости носа.

Лептокавительная форма полости носа предполагает распределение воздуха в верхний и средний носовые ходы как при вдохе, так и при выдохе.

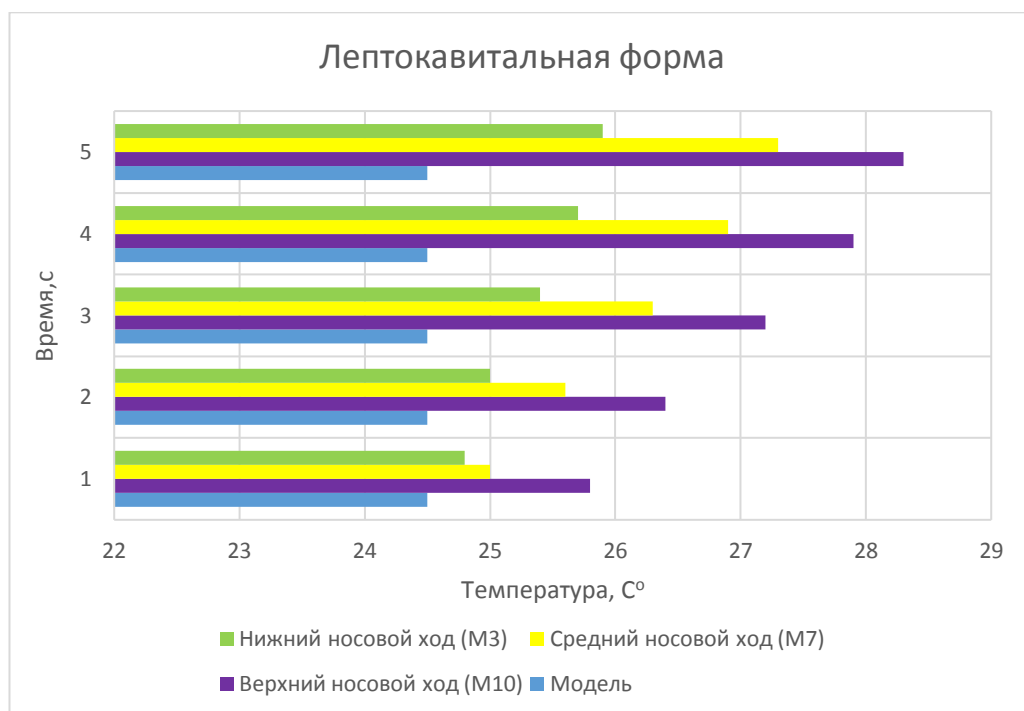


Рисунок 17. Распределение температуры в полости носа при выдохе.

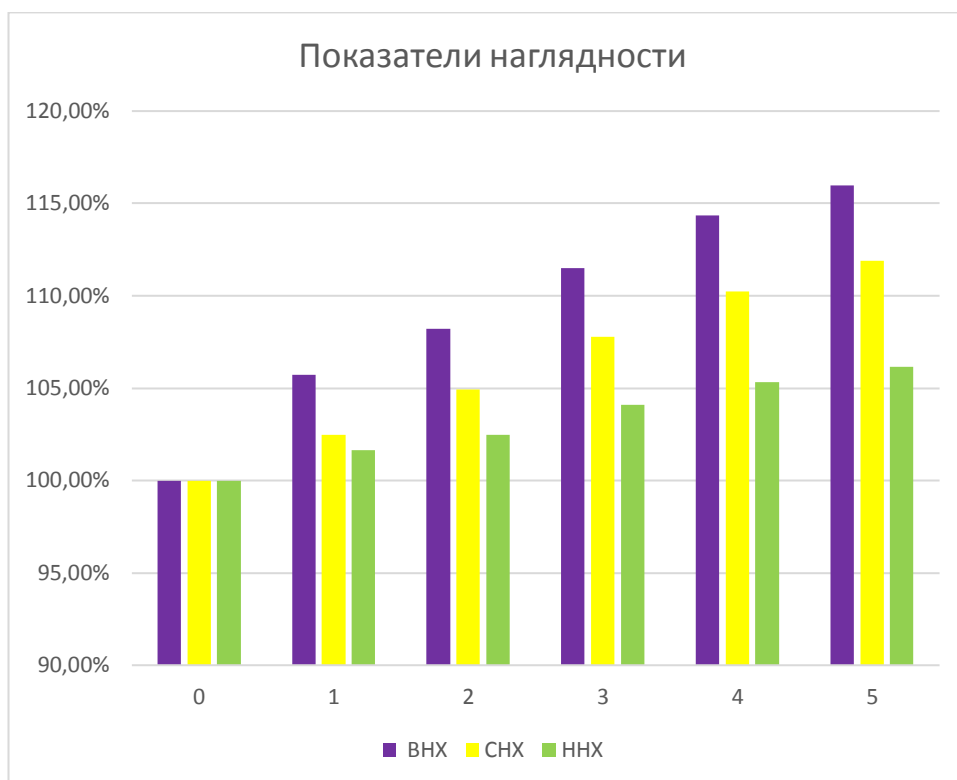


Рисунок 18. Сравнение показателей наглядности при выдохе. Лептокаavitальная форма полости носа.

При моделировании выдоха, путем нагнетания теплого воздуха в модель лептокаavitальной полости носа со стороны носоглотки отмечается значительное увеличение температуры в области верхнего и среднего отделов общего носового хода, верхнего и среднего носовых ходов (рис. 17). Увеличение температуры до 28,3 – 27,3 °C, относительно 24,5 °C, что соответствует температуре модели до начала эксперимента. В точке, соответствующей нижнему носовому ходу так же происходит повышение температуры, но не столь значимое (до 25,9 °C), что может быть объяснено конвекционными токами воздуха, а также теплопроводностью воздуха и акриловой модели. При сравнении показателей наглядности и темпов прироста температур в разных носовых ходах, так же отмечается значимый прирост в точках, соответствующих верхнему и среднему носовым ходам (5,74-2,46% за 1 секунду соответственно), при сравнении с этими же показателями в точке, соответствующей нижнему носовому ходу – 1,64% за первую секунду (рис. 18,19). Эти данные позволяют сделать вывод, что при

выдохе воздушный поток преимущественно направлялся в верхние и средние отделы общего носового хода, верхний и средний носовые ходы. При этом, все показатели, соответствующие верхнему носовому ходу значительно выше таковых в среднем носовом ходе, что позволяет говорить о том, что верхний носовой ход играет наибольшую роль при выдохе.

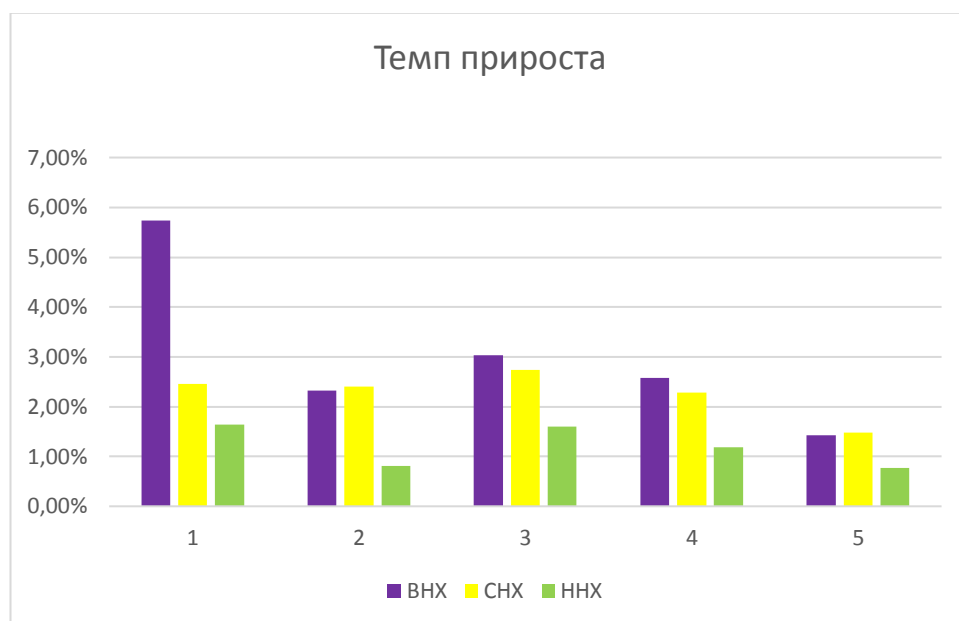


Рисунок 19. Сравнение темпов прироста температуры при выдохе. Лептокаavitальная форма полости носа.

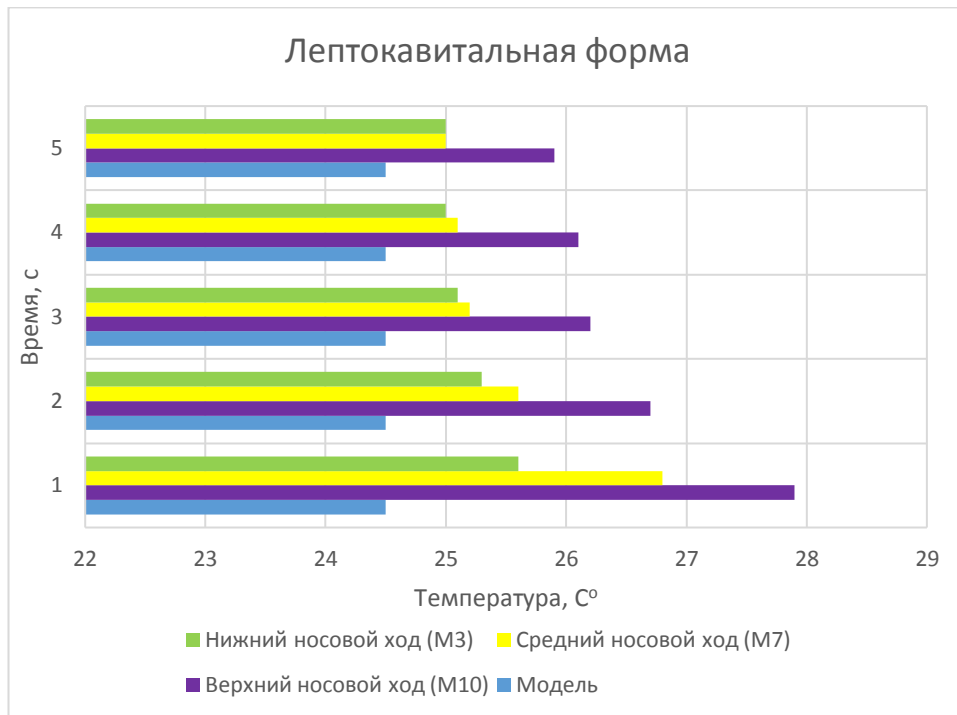


Рисунок 20. Распределение температуры в полости носа при вдохе.

При моделировании вдоха, путем создания отрицательного давления в разогретой при моделировании выдоха модели лептокавитальной полости носа со стороны носоглотки, отмечается значительное снижение температуры до 25,9 и 25, °С к пятой секунде вдоха, относительно 27,9 и 26,8 °С достигнутых при выдохе в верхнем и среднем носовых ходах соответственно (рис. 20). В точке, соответствующей нижнему носовому ходу так же происходит снижение температуры, но не столь значимое (с 25,6 до 25 °С), что может быть объяснено теплопроводностью воздуха и акриловой модели. При сравнении показателей наглядности и темпов прироста температур в разных носовых ходах, так же отмечается отрицательный прирост в точках, соответствующих верхнему и среднему носовым ходам: -0,71 % и -4,63% за 1 секунду, и -4,30% и - 4,38% за вторую секунду в верхнем и среднем носовых ходах соответственно; при сравнении с этими же показателями в точке, соответствующей нижнему носовому ходу: -0,39% и -1,17% за первую и вторую секунды (рис. 21,22). Эти данные позволяют сделать вывод, что при вдохе воздушный поток в первую секунду преимущественно направлялся в средние отделы общего носового хода и средний носовой ход. Со второй

секунды вдоха, часть воздушного потока проходит через верхний и средний носовые ходы.

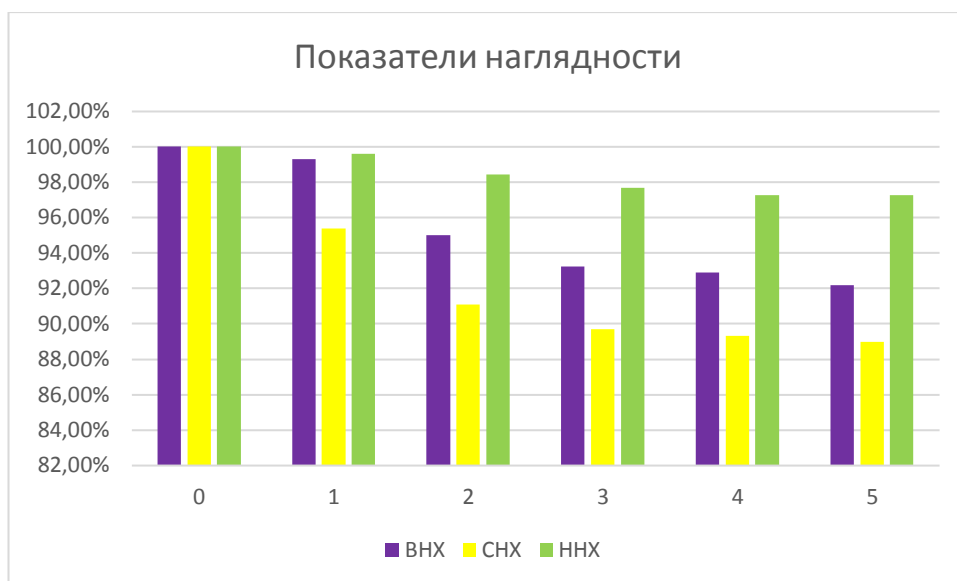


Рисунок 21. Сравнение показателей наглядности при вдохе. Лептокаavitальная форма полости носа.

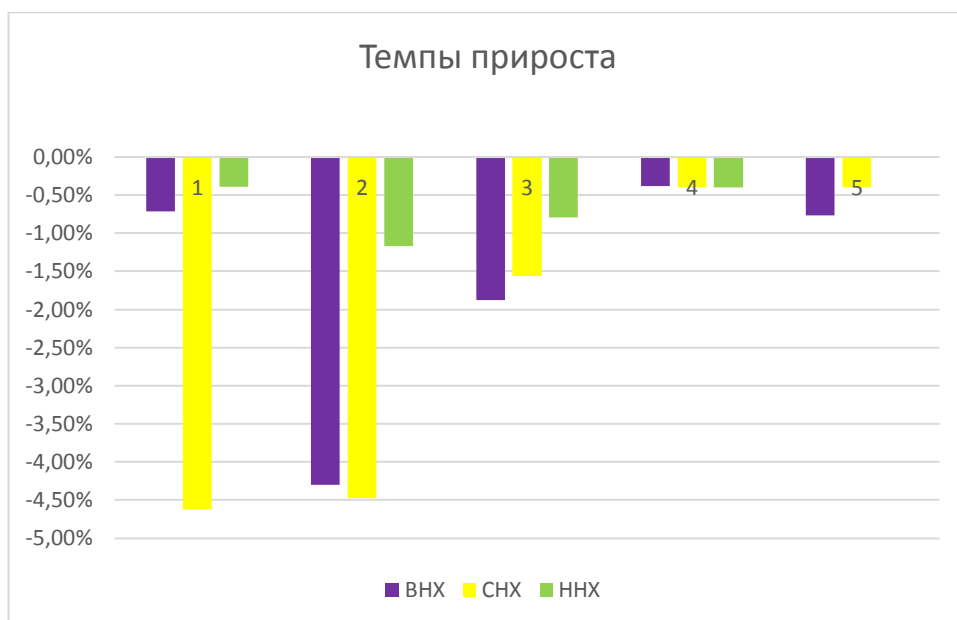


Рисунок 221. Сравнение темпов прироста температуры при вдохе. Лептокаavitальная форма полости носа.

Еще один показатель, отражающий распределение основного воздушного потока — это отношение конечной температуры к начальной в каждом носовом ходе (Δt), как при выдохе, так и при вдохе.

Таблица 1. Распределение основного воздушного потока при разных формах полости носа (выделенные ячейки).

лептокавитальная		ВДОХ Δt, %	ВЫДОХ Δt, %
носовые ходы	верхняя часть общего и верхний	- 7,17	9,69
	средний	-6,72	9,20
	нижний	-2,34	4,44
мезокавитальная		ВДОХ Δt, %	ВЫДОХ Δt, %
носовые ходы	верхняя часть общего и верхний	-8,82	3,87
	средний	-6,67	7,84
	нижний	-3,89	9,38
платикавитальная		ВДОХ Δt, %	ВЫДОХ Δt, %
носовые ходы	верхняя часть общего и верхний	-2,76	2,18
	средний	-3,46	4,67
	нижний	-1,15	1,95

Эти данные представлены в таблице 1, которая наглядно отражает принципиальные отличия в распределении воздушного потока в полостях носа, имеющих разную форму. Однако стоит отметить, что имеются менее значимые отличия по динамике в том или ином носовом ходе, описанные выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты во многом соответствуют предложенной гипотезе распределения воздушного потока в полости носа в процессе дыхания. Так, как и предполагалось, при лептокавитальной форме полости носа как при вдохе, так и при выдохе воздушный поток распределяется между верхним и средним носовыми ходами, а так же средними отделами общего носового хода. Это обусловлено достаточно пологим сводом носоглотки, который направляет воздушный поток в верхние отделы общего носового хода и верхний и средний носовые ходы при выдохе. При этом, ток воздуха в среднем носовом ходе, незначительно преобладает над током воздуха в верхнем носовым ходом. Направление движения воздушного потока в средний и верхний носовые ходы при вдохе определяет значительная степень отрицательного давления создаваемого в носоглотке, за счет общей узости полости носа, так и за счет топографо-анатомического расположения передних концов нижних носовых раковин, которые являются частью клапана носа. При лептокавитальной форме полости носа наблюдается меньшее расстояние в переднем и среднем отделах между нижними носовыми раковинами и перегородкой полости носа, чем при мезо- и платикавитальных формах полости носа. Нижний носовой ход при такой форме полости носа в акте дыхания участия практически не принимает.

Несмотря на более крутой свод носоглотки при платикавитальной полости носа и более узкий средний носовой, по сравнению с мезокавитальной полостью, воздушный поток при выдохе направляется преимущественно средний носовой ход и среднюю часть общего носового хода. Такое распределение воздушного потока при выдохе может объясняться тем, что при увеличении указателя полости носа (переходе от лептокавитальной полости к платикавитальной) форма сечения полости носа переходит из щелевидной в форму «трубы», что характеризуется более широким общим

носовым ходом. Передние и средние отделы нижних носовых раковин наиболее удалены от перегородки полости носа, относительно мезо- и лептокавитальной форм полости носа. Таким образом внутриносые структуры в меньшей мере препятствуют току воздуха в средней части общего носового хода. По этой же причине при вдохе воздушный поток направлялся в среднюю и верхнюю части полости носа. Достаточно широкий общий носовой ход не создает столь сильного сопротивления току воздуха, как при лептокавитальной форме полости носа, что в свою очередь делает степень отрицательного давления в носоглотке недостаточным для создания крутой дуги тока воздуха. Таким образом при вдохе при мезокавитальной форме полости носа воздушный поток, под действие отрицательного давления в носоглотке движется дугообразно по пути наименьшего сопротивления – в средней части общего носового хода и через верхний носовой ход.

Наиболее значимые различия в распределении воздушного потока в полости носа, как и ожидалось, были получены между крайними формами индивидуальной изменчивости – между лепто- и платикавитальными формами полости носа. Так как, топографо-анатомические особенности внутриносых структур также были наиболее значимы при этих формах полости носа.

ВЫВОДЫ

Высокая степень соответствия данных, полученных методом инфракрасной термометрии при оценке распределения воздушного потока в полости носа, имеющей мезокавитальную форму, и данных, полученных ранее с использованием других методов моделирования, позволяет говорить об эффективности предложенной методики. Фиксация инфракрасного излучения воздушного потока обладает не только высокой степенью визуализации, но и позволяет получать количественные характеристики изменения температуры в различных частях модели полости носа, при прохождении через нее горячего или холодного воздуха. Что невозможно при использовании метода подкрашивания потока, который получил широкое распространение в экспериментах с физическими моделями полости носа. Метод трассерной визуализации является более точным, но менее экономически целесообразным для поиска значимых аэродинамических отличий, которые могут быть изучены более простой методикой. При этом ни метод подкрашивания потока, ни методика трассерной визуализации не дают возможности изучения распределения потока при динамической смене вдоха и выдоха. Оба метода позволяют оценивать распределение воздушного потока отдельно для вдоха и выдоха. Метод инфракрасной термометрии позволяет непрерывно получать данные в процессе моделирования дыхания.

Были выявлены значимые отличия в распределении воздушного потока в полостях носа имеющих лепто-, мезо- и платикавитальную форму, как при вдохе, так и при выдохе. Отмечено значительное влияние топографо-анатомических соотношений внутриносовых структур при различных формах полости носа на характер распределения воздушной струи в полости носа. Наибольшая степень различия тока воздуха выявлена между плати- и лептокавитальной формами полости носа.

Обнаруженные различия характерны не только для конкретных форм носа. Так же прослеживается закономерность изменения распределения воздушного потока при изменении указателя полости носа. При увеличении

данного указателя снижается влияние внутриносовых структур на ток воздушного потока, поскольку полость носа в своем сечении переходит из щелевидной в форму «трубы», что позволяет воздушному потоку свободно проходить через общий носовой ход. С увеличением указателя полости носа снижается влияние носового клапана степень отрицательного давления в носоглотке, что делает дугу воздушной струи при вдохе более полой. При выдохе ведущую роль в формировании воздушного потока играет степень крутизны носоглотки и величина угла между скатом и дном полости носа, которая увеличивается с увеличением указателя полости носа.

Дальнейший анализ полученных при экспериментах данных позволит не только изучить более тонкие различия в распределении воздушного потока в полости носа, но и составить представление о динамике изменения температуры в различных носовых ходах, что косвенно отразит степень вентиляции того или иного отдела полости носа в конкретный момент времени в процессе дыхания.

Для понимания всей глубины взаимосвязи указателя полости носа и распределении воздушного потока в носовой полости необходимо дальнейшее изучение данного вопроса с использованием более сложных методик, таких как трассерная визуализация и вычислительная гидродинамика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочкарев И.А. Математическое прогнозирование в исследовании нестандартных размеров латеральной стенки полости носа при различных формах черепа. / И.В. Гайворонский, С.Г. Григорьев, И.А. Бочкарев // Современные аспекты фундаментальной и прикладной морфологии. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. СПбГУ. - СПб, 2004. - С. 47.
2. Диагностика и лечение риносинусогенных орбитальных осложнений / Пискунов И.С., Завьялов Ф.Н., Пискунов В.С. и др. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2004. - 112 с.
3. Мареев О.В. Индивидуальная изменчивость формы и строения носоглотки в связи с особенностями строения основания черепа и лицевого скелета у детей / Мареев О.В. Николенко В.Н, Казанова А.В., Шувалова Л.В., Казанов В.А. // Вестник оториноларингологии - 2006 - №6.- С. 45-46.
4. Неронов Р.В. Новый указатель в ринологии. / Неронов Р.В. // Материалы XII Всероссийского Конгресса оториноларингологов «Наука и практика в оториноларингологии» - М, 2013. – С. 100-101.
5. Неронов Р.В. Визуализация инфракрасного излучения воздушного потока для оценки его распределения в полости носа / Неронов Р.В., Рассадина А.А., Агалаков И.Д. // XX международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике»: сб. статей. – СПб, 2015. – С. 129-130.
6. Неронов Р.В. Степень соответствия формы наружного носа и формы полости носа / Неронов Р.В., Агалаков И.Д. // XVIII международная медико-биологическая конференция молодых исследователей «Фундаментальная наука и клиническая медицина – человек и его здоровье»: сб. статей. - СПб, 2015. - С. 366-367.

7. Неронов Р.В. Топографо-анатомические взаимоотношения внутриносовых структур при различной форме полости носа / Неронов Р.В., Агалаков И.Д. // XVIII международная медико-биологическая конференция молодых исследователей «Фундаментальная наука и клиническая медицина – человек и его здоровье»: сб. статей. – СПб, 2015. – С. 365-366.
8. Пирогов Н.И. Топографическая анатомия, иллюстрированная разрезами, проведенными через тело человека в трех направлениях / Пирогов Н.И. – СПб, 1859 – 67 с.
9. Пискунов В. С. Клиническая анатомия решетчатой кости и решетчатого лабиринта / Пискунов В. С., Пискунов И. С. - Курск: Курский государственный медицинский университет, 2009. - 172 с.
10. Пискунов С.З. Физиология и патофизиология носа и околоносовых пазух / Пискунов С.З. // Российская ринология – 1993 - №1, С.19-39.
11. Риносинусогенные внутричерепные осложнения: вопросы этиопатогенеза, совершенствования диагностики, хирургического и консервативного лечения : автореферат дис. ... кандидата медицинских наук : 14.00.04 / Демиденко Алексей Николаевич. Курс, 2009.
12. Храппо Н.С. Нос в системе целого черепа. / Храппо Н.С., Тарасова Н.В. - Самара, СанГМУ, 1999. - 172 с.
13. Этиопатогенетическая терапия заболеваний верхних дыхательных путей и уха: методические рекомендации / Под ред. С.В. Рязанцева. – СПб.: Полифорум Групп, 2015. – 44 с.
14. Churchill S.E. Morphological variation and airflow dynamics in the human nose. / Churchill S.E., Shackelford L.L., Georgi J.N., Black M.T. // Am. J. Hum. Biol. – 2004 - №16, P. 625–638.
15. Coste A. Empty nose syndrome. / Coste A., Dessi P., Serrano E. // European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases - 2012 - №4 - P. 93–97.

16. Doorly D.J. Experimental investigation of nasal airflow. / Doorly D.J., Taylor D.J., Franke P., Schroter R.C. // Proc. Inst. Mech. Eng. H: J. Eng. Med. – 2008 - № 222, P. 439–453.
17. Girardin M. Experimental study of velocity fields in a human nasal fossa by laser anemometry. / Girardin M., Bilgen E., Arbour P. // Annals of Otorhinolaryngology - 1983 - №92, P. 231–236.
18. Hahn I. Velocity profiles measured for airflow through a large-scale model of the human nasal cavity. / Hahn I., Scherer P.W., Mozell M.M. // Model. Physiol. – 1993 - №75, P. 2273–2287.
19. Hornung D.E. Airflow patterns in a human nasal model. / Hornung D.E., Leopold D.A., Youngentob S.L., Sheehe P.R., Gagne G.M., Thomas F.D., Mozell, M.M. // Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery – 1987 - №113, P. 169–172.
20. Infectious Diseases Society of America [электронный ресурс] – США, 2012. – Режим доступа: <http://www.idsociety.org/Index.aspx>, свободный.
21. Kelly J.T. Detailed flow patterns in the nasal cavity. / Kelly J.T., Prasad A.K., Wexler A.S. // J. Appl. Physiol. - 2000 - № 89, P. 323–337.
22. Kim J.K. An investigation on airflow in disordered nasal cavity and its corrected models by tomographic PIV. / Kim S.K., Chung S.K. // Meas. Sci. Technol. – 2004 - №15, P. 1090–1096.
23. Kim J.K. Particle image velocimetry measurements for the study of nasal airflow. / Kim J.K., Yoon J.H., Kim C.H., Nam T.W., Shim D.B., Shin, H.A. // Acta Otolaryngol. – 2006 - №126(3), P. 282–287.
24. Mlynski G. Correlation of nasal morphology and respiratory function. / Mlynski G., Grützenmacher S., Plontke S. et al. // Rhinology – 2001 - №39, P. 197–201.
25. Onodi, A. Topographische Anatomie der Nasenhöhle und ihrer Nebenhöhlen/ A. Onodi// Handbuch der speziellen chirurgie des ohres und der oberen luftwege.-Leipzig, 1922 .- P. 61-135.

26. Park K.I. Experimental study of velocity fields in a model of human nasal cavity by DPIV. Laser anemometry advances and applications. / Park K.I., Brücker C., Limberg W. // Proceedings of the 7th International Conference. University of Karlsruhe. - Karlsruhe, Germany, 1997 - P. 617–626.
27. Proetz A.W. Air currents in the upper respiratory tract and their clinical importance. / Proetz A.W. // Annals of Otorhinolaryngology - 1951 - №60, P. 439–467.
28. Schreck S. Correlations between flow resistance and geometry in a model of the human nose. / Schreck S. at all. // Journal of Applied Physiology - 1993 - №75, P. 1767–1775.
29. Swift D.L. Access of air to the respiratory tract. / Swift, D.L., Proctor, D.F. // Respiratory Defense – 1977 - №3, P. 63–91.
30. Taylor, D.J. Airflow in the human nasal cavity. In: Proceedings of the ASME SBC05 / Taylor, D.J., Franke, V.E., Doorly, D.J., Schroter, R.C. // Summer Bioengineering Meeting, June 22–26, 2005, Colorado, USA.
31. Wytske J. Fokkens. European Position Paper on Rhinosinusitis and Nasal Polyps 2012. / Wytske J. Fokkens, Valerie J. Lund, Joachim Mullol and all. // Rinology – 2012 - №23 – P. 1-247.
32. Zuckerkandl, E. Normale und pathologische Anatomie der Nasenhöhle und ihrer pneumatischen / E. Zuckerkandl. Anhang.- Wein: Wilhelm Breumüller, 1883.- 325 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Титульный лист сборника работ

Приложение 1

Санкт-Петербургский государственный университет
Медицинский факультет
Факультет стоматологии и медицинских технологий
Российское физиологическое общество им. И. П. Павлова
Санкт-Петербургское отделение
Международного общества патофизиологов (ISP)
Пироговское хирургическое общество
Санкт-Петербургское общество естествоиспытателей
Санкт-Петербургское отделение Всероссийского общества
анатомов, гистологов и эмбриологов
Бехтеревское психиатрическое общество
Ассоциация торакальных хирургов
Национальная ассоциация фтизиатров
Научные и профессиональные медицинские общества Санкт-Петербурга
Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА И КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА — ЧЕЛОВЕК И ЕГО ЗДОРОВЬЕ

XVIII Международная
медико-биологическая конференция
молодых исследователей,
посвященная двадцатилетию
медицинского факультета СПбГУ

18 апреля 2015 года
Санкт-Петербургский государственный университет

Санкт-Петербург
2015

(или другим йод содержащим) раствором, его оценивают по пятибалльной системе.

Окрашивание всей губной поверхности зуба оценивали 5 баллов, а поверхности — 4 балл, S поверхности — 3 балл, j поверхности — 2 балл. Отсутствие окрашивания оценивали в 1 балл. Результаты оценивают по следующим градациям: 1,1–1,5 — хороший; 1,6–2,0 — удовлетворительный; 2,1–2,5 — неудовлетворительный; 2,6–3,4 — плохой 3,5–5,0 — очень плохой.

Было установлено, что средняя величина индекса гигиены полости рта у детей в исследуемой группе составляла 2,35, а в контрольной группе — 2,37. Как видно из этих данных, в исследуемой и контрольной группах не было существенной разницы показателей среди мальчиков и девочек.

Результаты исследования позволяют сделать вывод, что 67% обследованных детей имеют плохой статус гигиены полости рта. Такое положение остро выдвигает необходимость усиления стоматологической просветительской работы среди детей и родителей.

ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ВНУТРИНOSОВЫХ СТРУКТУР ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЕ ПОЛОСТИ НОСА

Р. В. Неронов, врач, И. Д. Агалаков, студ.

ВМедА им. С. М. Кирова, кафедра нормальной анатомии. СПбГУ, медицинский факультет, кафедра морфологии. Санкт-Петербург. Россия

Материалом исследования служили 100 компьютерных томограмм полости носа и околоносовых пазух людей зрелого возраста (50 мужчин и 50 женщин). Компьютерная томография проводилась в медицинском центре ЗАО «СМТ» на мультислайсовом 4-х детекторном спиральном компьютерном томографе Light Speed Plus производства компании General Electric.

Целью исследования являлось выявление особенностей строения внутриносовых структур в группах с различной формой полости носа.

При сравнении результатов измерений внутриносовых структур у мужчин выявлены значимые типовые различия ($p < 0,05$) у крайних форм полости носа. Для лептокаavitальной формы, относительно платикаavitальной, у мужчин характерно меньшее расстояние в переднем и среднем отделах между нижними носовыми раковинами; узкие передние концы средних носовых раковин и широкие средние носовые ходы.

При обеих формах полостей носа, средние отделы нижних носовых раковин приближены к срединной плоскости, относительно передних концов. При лептокавитальной форме у средних носовых раковин передние концы приближены к срединной плоскости, относительно средних отделов средней носовой раковины. При платикавитальной форме наблюдается обратное отношение.

Выявлено, что средняя носовая раковина при платикавитальной форме, относительно лептокавитальной, имеет небольшую длину, как и скат располагается более вертикально относительно дна полости носа, лептокавитальную форму характеризует большая высота в переднем отделе и высокие хоаны.

В женской группе типовые особенности между лепто-, мезо- и платикавитальной формами полости носа менее выражены чем у мужчин и наблюдались преимущественно в крайних группах. Так, платикавитальная форма полости носа у женщин будет отличаться от лептокавитальной низкой полостью носа в переднем и заднем отделах, более вертикально расположенным скатом и свободным краем средней носовой раковины относительно дна полости носа, широким общим носовым ходом на уровне передних концов нижних носовых раковин, широким нижним носовым ходом в средних отделах, широким передним концом средней носовой раковины, узким средним носовым ходом в передних отделах.

Таким образом, выявлены топографо-анатомические особенности строения внутриносевых структур при различных формах полости носа. Данные особенности необходимо учитывать при оперативных вмешательствах в полости носа.

СТЕПЕНЬ СООТВЕТСТВИЯ ФОРМЫ НАРУЖНОГО НОСА И ФОРМЫ ПОЛОСТИ НОСА

Р. В. Неронов, врач, И. Д. Агалаков, студ.

ВМедА им. С. М. Кирова, кафедра нормальной анатомии. СПбГУ, медицинский факультет, кафедра морфологии. Санкт-Петербург. Россия

Материалом исследования служили 50 компьютерных томограмм полости носа и околоносовых пазух мужчин среднего возраста, проведенных на мультислайсовом 4-х детекторном спиральном компьютерном томографе Light Speed Plus производства компании General Electric в медицинском центре ЗАО «СМТ».

Целью исследования являлась оценка степени соответствия формы наружного носа и формы полости носа.

В результате исследования был предложен указатель полости носа, определяемый как отношение ширины полости носа к ее высоте. Измерения высоты и ширины полости носа выполнялись с использованием мультипланарной реконструкции в коронарной плоскости, в месте расположения решетчатых отростков нижних носовых раковин, перпендикулярно дну полости носа. Данная плоскость была выбрана по причине того, что она проходит через структуры остиомеатального комплекса, характеризующего функциональное состояние соустьев околоносовых пазух.

Предложена новая классификация форм полости носа. По указателю полости носа материал был разделен на три группы: лепто-, мезо- и платикавительную. Так, лептокавительная группа имела указатель до 49,9, мезокавительная — от 50,0 до 56,5 и платикавительная — более 56,6. Этот же материал был разделен на группы по назальному индексу. При сопоставлении двух вариантов деления материала на группы, выявлено, что форма наружного носа соответствует форме полости носа только в 60% случаев.

Таким образом, в результате исследования выявлено, что использование носового указателя для оценки характеристик полости носа и топографо-анатомических отношений внутриносовых структур не корректно. Для оценки морфометрических характеристик полости носа следует использовать предложенный нами указатель полости носа.

КИНЕТИЧЕСКИЙ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ПОБОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ НЕКОТОРЫХ ЭНТЕРОСОРБЕНТОВ

М. И. Нестерович, студ., А. В. Леонов, студ., Л. В. Туровец, студ.

*Гомельский государственный медицинский университет. Гомель.
Беларусь*

Актуальность. Энтеросорбция — эффективный метод выведения из организма чужеродных веществ, попадающих в него из окружающей среды, или образующихся в самом организме токсических продуктов обмена. Негативное действие энтеросорбентов заключается в связывании и выведении из организма жизненно важных веществ: витаминов, биометаллов, незаменимых аминокислот, липидов и других пищевых субстратов.

Цель: изучение побочного действия энтеросорбентов: полифепана и белого угля, относящихся к сорбентам четвертого поколения.

ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ им. И.П. ПАВЛОВА РАН
ИНСТИТУТ ЦИТОЛОГИИ РАН
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН
АКАДЕМИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ,
ТЕХНОЛОГИЙ И ЭКОНОМИКИ

**ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ
ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

СБОРНИК СТАТЕЙ
XX международной научно-практической конференции
"ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ,
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭКОНОМИКЕ"
24–26 ноября 2015 года, Санкт-Петербург, Россия

Научные редакторы
Кузнецов А.П., Кузнецов И.А., Крылов Б.В.

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2015

Неронов Р.В. *, Рассадина А.А.**, Агалаков И.Д.***
**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЗДУШНОГО
ПОТОКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПОЛОСТИ НОСА**

*Медицинский комплекс АО «Современные медицинские технологии»,
**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики, ***Санкт-Петербургский
Государственный университет, медицинский факультет,
Санкт-Петербург, Россия

Neronov R.V.*, Rassadina A.A.**, Agalakov I.D.***
**HOLD INFRARED AIR FLOW FOR EVALUATION ITS DISTRIBUTION
IN THE NASAL CAVITY**

* Medical Complex SC «Modern medical technology», **St. Petersburg National
Research University of Information Technologies Institute, Mechanics and Optics,
*** St. Petersburg State University, School of Medicine, St. Petersburg, Russia

Реферат: На твердотельной модели полости носа человека был смоделирован процесс дыхания с пиковой скоростью потока 12л/мин. Визуализация потока производилась с помощью тепловизора. Полученные данные соответствуют результатам, полученным с помощью других методов исследования, что свидетельствует о возможности использования данного метода в исследовательской деятельности.

Ключевые слова: внутриносые структуры, тепловизор, аэродинамика полости носа.

Abstract: In a model of the human nasal cavity was modeled process of breathing with a peak flow rate of 12l / min. Visualisation the flow performed with a thermal imager. These data correspond to those obtained by other methods that indicate the possibility of using this method in the research.

Keywords: intranasal structures, thermal imager, aerodynamics of the nasal cavity.

Цель работы - оценка возможности использования тепловизора для оценки распределения воздушного потока в полости носа.

При моделировании воздушных потоков в полости носа приходится пренебрегать вазомоторными изменениями, размерами модели [3], динамическими характеристиками тока воздуха [1],[5]. Часто для моделирования потока используется не воздух, а жидкие среды: вода, водноглицериновые растворы и др. [1],[4],[5]. Использование жидких сред имеет ряд преимуществ: близкие показатели преломления акрила (1.45) и воды (1.33), у воздуха воздух (1.00), что снижает оптическое искажение при наблюдении потока [6]; при постоянных параметрах тока жидкости, эквивалентное число Рейнольдса может быть получено при прохождении жидкости в 15 раз медленнее [6]. Однако, в процессе дыхания воздух имеет динамические характеристики, при которых достижения эквивалентного числа Рейнольдса вряд ли достижимо, при использовании жидкости.

Материалы и методы. В работе применен новый метод оценки аэродинамики полости носа с помощью визуализации инфракрасного излучения. Для исследования использовалась твердотельная акриловая модель правой половины полости носа человека в масштабе 1:1 с продлением плоскости носовой перегородки в носоглотку, созданная на основании данных компьютерной томографии. Для уменьшения оптического шума верхнечелюстные пазухи в модели не представлены. В данную модель при помощи ПВХ трубки подавался воздушный поток с температурой 35°C и пиковой скоростью потока 12 л/мин со стороны носоглотки при моделировании выдоха, затем со стороны преддверия носа при моделировании вдоха. Оценка распределения потока воздуха производилась с помощью тепловизора Testo 890 в температурном диапазоне 20 - 30 °C.

Результаты. При визуализации воздушных потоков в твердотельной акриловой модели полости носа были получены данные распределения основных воздушных потоков, которые подтверждают ранее полученные данные других исследований, проводимых методом цифровой трассерной визуализации [2],[3]. Так при вдохе основная масса воздушного потока направляется к средней носовой раковине. При этом оставшаяся часть потока преимущественно направляется в верхний носовой ход, а при выдохе основная часть воздушного потока направляется в нижний носовой ход.

Выводы. Полученные результаты подтверждают ранее проводимые исследования в этой области и доказывают преимущества использования тепловизора для оценки аэродинамики полости носа в эксперименте, что позволяет говорить об эффективности. Данный метод обладает достаточно высокой наглядностью и метод может быть применен для изучения аэродинамики полости носа. Визуализация инфракрасного излучения воздушного потока поможет наглядно увидеть особенности аэродинамики, не прибегая к более сложным методам исследования.

Литература

1. Churchill S.E., Shackelford L.L. at all. Morphological variation and airflow dynamics in the human nose. *American journal of human biology*, 2004, №16, 625–638.
2. Hopkins L. M., Kelly J. T., Wexler A. S., Prasad A. K. Particle image velocimetry measurements in complex geometries. *Experiments in Fluids*, 2000, №29, 91-95.
3. Kim J.K., Yoon J.H., Kim C.H. at all. Particle image velocimetry measurements for the study of nasal airflow. *Acta Otolaryngology*, 2006, 126(3), 282-287.
4. Kim S.K., Chung S.K. An investigation on airflow in disordered nasal cavity and its corrected models by tomographic PIV. *Measurement Science and Technology*, 2004, 15(6), 1090.
5. Mlynski G., Grützenmacherl S., Plontke S. at all. Correlation of nasal morphology and respiratory function. *Rhinology*, 2001, №39, 197–201.
6. Schreck S. at all. Correlations between flow resistance and geometry in a model of the human nose. *Journal of Applied Physiology*, 1993, №75, 1767–1775.